

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

DISEÑO DE UN MODELO Y SU INSTRUMENTACIÓN COMO
HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL NIVEL DE PREPARACIÓN
EN INDUSTRIA 4.0 DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA

T E S I S

PRESENTADA POR

JULIO CÉSAR CORTEZ GÁMEZ

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener
el grado de Maestro en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS

DR. GUZMÁN GERARDO ALFONSO SÁNCHEZ SCHMITZ

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

AGOSTO 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA



División de Ingeniería
Posgrado en Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería en Sistemas y Tecnología

Hermosillo, Sonora a 30 de junio de 2021.

JULIO CESAR CORTEZ GAMEZ

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro(a) en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **DISEÑO DE UN MODELO Y SU INSTRUMENTACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL NIVEL DE PREPARACIÓN EN INDUSTRIA 4.0 DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

DR. GUZMAN GERARDO ALFONSO
SÁNCHEZ SCHMITZ
Director(a) de tesis y Presidente del jurado

DR. VICTOR HUGO BENITEZ
BALTAZAR
Secretario(a) del Jurado

DR. JESUS HORACIO PACHECO
RAMÍREZ
Vocal del Jurado

DR. ALONSO PÉREZ SOLTERO
Vocal del Jurado



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Villahermosa, Tabasco, México, a 30 de junio de 2021.

JULIO CESAR CORTEZ GAMEZ

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **DISEÑO DE UN MODELO Y SU INSTRUMENTACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL NIVEL DE PREPARACIÓN EN INDUSTRIA 4.0 DE UNA EMPRESA DE MANUFACTURA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

DR. PABLO PAYRÓ CAMPOS
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
Sinodal Externo y Vocal del Jurado

RESUMEN

Debido a la gran cantidad de empresas que ofrecen diferentes tipos de productos y servicios, existe un alto nivel de competencia y así mismo un terreno difícil para llegar a la cima, por lo que resulta indispensable avanzar hacia un futuro con mayor productividad al menor costo posible, considerando adoptar nuevos modelos de producción o nuevas formas de trabajo, este nuevo paradigma representa una revolución industrial que definirá tanto los nuevos productos como las nuevas formas de producción y así mismo, será sin duda alguna un movimiento de cambio que representará mayor competitividad para las empresas, resultando en mejores oportunidades de crecimiento y estabilidad financiera para todas aquellas empresas que lo adopten, mientras que para aquellas empresas que no avancen al futuro podrían quedarse estancadas en procesos obsoletos y finalmente desaparecer ante la infalible etapa de cambio dictada por la competencia globalizada. Por lo anterior es indispensable contar con un modelo de evaluación del nivel de madurez en Industria 4.0 y su instrumentación como herramienta para así poder conocer de manera adecuada cuál es la situación particular en la que se encuentra cada empresa y con esta información de referencia poder buscar soluciones para implementar esta nueva industria en los procesos actuales de trabajo de la empresa evaluada.

El proyecto descrito en este trabajo se desarrolla en una empresa de consultoría dedicada a ofrecer soluciones de ingeniería enfocadas en la prevención de riesgos con el fin de mejorar la calidad, la productividad, así como también la salud y bienestar de los empleados. Se presenta una problemática de cómo definir o evaluar el grado de implementación que tienen los clientes o posibles clientes dentro de la Industria 4.0, es decir, qué tan preparados se encuentran para adoptar dicha revolución industrial y qué necesitan para obtener un buen nivel de implementación de dicha industria.

La metodología propuesta para dar solución al problema se basa en el análisis de casos de éxito de una empresa consultora según indicadores críticos definidos en la literatura. Realizando pruebas del modelo en empresas de manufactura para revisar

su funcionamiento y finalmente analizar los resultados obtenidos, los cuales sirven para el ajuste del mismo modelo.

De tal forma que la implementación del modelo quedó reflejada en una herramienta que se desarrolló especialmente para la empresa consultora, con la finalidad de estandarizar y agilizar el proceso de evaluación de proyectos relacionados con la Industria 4.0, resultando finalmente en una mejora de dicho proceso en comparación con la forma en la que la compañía de consultoría realizaba las evaluaciones correspondientes. Aún falta una mayor interacción con la herramienta por parte del resto del personal, por lo cual los beneficios podrán visualizarse mejor en un mediano plazo, ya que permitirá a la empresa mejorar sus procesos de evaluación de proyectos y estandarizar la forma de trabajo de los demás departamentos.

ABSTRACT

Due to the large number of companies that offer different types of products and services, there is a high level of competition and also a difficult terrain to reach the top, so it is essential to move towards a future with greater productivity at the lowest possible cost, considering adopting new models of production or new forms of work, generally focused on industry 4.0, an industrial revolution that will define both new products and new forms of production and likewise, will undoubtedly be a movement of change that will represent greater competitiveness for companies, resulting in better growth opportunities and financial stability for all those companies that adopt it, while for those companies that do not advance to the future, they could get stuck in obsolete processes and finally disappear before the infallible stage of change dictated by global competition. Therefore, it is essential to have a model for evaluating the level of maturity in industry 4.0 and its instrumentation as a tool to be able to adequately know what the particular situation of each company is and with this reference information to be able to search for solutions to implement this new industry in the current work processes of the evaluated company.

In such a way, the project described in this work is developed in a consulting company dedicated to offering engineering solutions focused on risk prevention in order to improve quality, productivity, as well as the health and well-being of the employees. Where there is a problem of how to define or evaluate the degree of implementation that customers or potential customers have within industry 4.0, that is, how prepared they are to adopt the industrial revolution and what they need to obtain a good level of implementation of that industry.

The proposed methodology is based on the analysis of success cases of a consulting company according to critical indicators defined in the literature. Testing the model in manufacturing companies to review its operation and finally analyze the results obtained, which are used to adjust the same model.

Thus, the implementation of the model was reflected in a tool that was developed especially for the consulting company, in order to standardize and streamline the

evaluation process of projects related to industry 4.0, ultimately resulting in an improvement of the process compared to the way in which the consulting company carried out the corresponding evaluations. There is still a lack of greater interaction with the tool by the rest of the staff, so the benefits can be better visualized in the medium term, since it will allow the company to improve its project evaluation processes and standardize the way other departments work.

DEDICATORIA

A lo mas importante que tengo en mi vida, mi familia.

A mis padres, por haberme educado como la persona que soy en la actualidad. Muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que con gusto y orgullo puedo incluir éste. Siempre me han dado el mejor ejemplo de vida y la motivación necesaria para cumplir todos mis sueños.

A mi hermana, por estar siempre presente en mi vida, no siempre de acuerdo conmigo, pero siempre apoyándome en todo, te dejo éste trabajo como un claro ejemplo de lo que nos enseñaron nuestros padres a los largo de los años: Todo los sueños se pueden cumplir si se lucha por ellos y si decides no rendirte hasta alcanzarlos.

“Dentro de veinte años a partir de ahora te arrepentirás de las cosas que no hiciste, así que suelta las amarras y navega fuera de tu zona de confort, busca el viento en tus velas. Explora, Sueña, Descubre”

- Mark Twain

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada a Dios, por darme la oportunidad de seguir cumpliendo mis metas y sueños. Estoy eternamente agradecido. Gracias por esta vida.

A mi familia, sin duda alguna a mis padres, Julio Cortez y Lidia Gámez, y a mi hermana Yuliana, que siempre me han apoyado en todo lo que me propongo hacer y esta vez no fue una excepción. Gracias por acompañarme durante todo el proceso y por creer en mi. Papá, espero siempre estar a la altura de tus expectativas y superarles día con día, alcanzar todos mis sueños y metas, siendo siempre un buen reflejo tuyo. Mamá, que día tras día me demuestras que siempre es posible mejorar, siempre es posible crecer, nunca es opción el rendirse o el no intentarlo, gracias por darme lo mejor que tengo, mi actitud, siempre positiva y con grandes habilidades sociales. Yuliana, mi hermana de nacimiento, pero mi amiga de vida por elección propia, gracias por darme razones para ser mejor día con día, espero ser siempre un bueno ejemplo de vida para ti, agradezco enormemente tu apoyo en momentos difíciles. Espero seguir siendo su orgullo siempre. Los amo.

A mi novia Lupita Grijalva, por ser la mejor compañía, por compartir sus sueños conmigo y creer en mi siempre. Ha sido una bendición coincidir contigo, espero que la vida nos permita crecer juntos y compartir mucho más. Te amo.

A mis amigos, hermanos que la vida me dio la oportunidad de escoger, gracias por siempre estar disponibles para mi, por apoyarme y motivarme en todo momento incluso cuando mas cansado o desanimado pudieran verme. De todo corazón, gracias.

A mi director de tesis, el Dr. Guzmán Gerardo Alfonso Sánchez Schmitz, primeramente por aceptar mi proyecto de tesis, por su gran apoyo y paciencia, por compartir sus conocimientos y ser mi guía en el proceso de este trabajo, gracias por motivarme a lograr cumplir con esta gran meta de realizar mi tesis.

A todos mis maestros en el programa de la maestría, por compartirme sus conocimientos con los cuales fortalecí mi formación académica y personal, gracias de igual forma por su paciencia.

A todos mis compañeros de la maestría que hicieron más ameno el tiempo que duró el programa. Gracias, a aquellos que me ayudaron con tareas o dudas en alguna materia. Igualmente les agradezco por su amistad, una grata sorpresa que no esperaba encontrar.

Al Dr. Carlos Alberto Real Villalba, gerente general de Sandalwood de México, por permitirme realizar mi proyecto de tesis en su empresa, poniendo a mi disposición su tiempo, paciencia y conocimientos, así como recursos. Al equipo de Sandalwood, en especial a los ingenieros Evelyn Nevarez y Daniel Ojeda, por su gran apoyo y por estar dispuestos a participar en las actividades relacionadas con mi trabajo de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por su apoyo económico brindado en mi estudio de posgrado.

Creo que no hay palabras suficientes para agradecer a todas y cada una de las personas que ha sido parte de este gran logro en mi vida. Me llena de felicidad y orgullo poder cumplir con esta meta y poderlos incluir en este gran episodio de mi vida, uno de mis grandes logros... Simplemente gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivo general	3
1.4. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis	3
1.6. Alcances y delimitaciones	4
1.7. Justificación.....	4
2. MARCO DE REFERENCIA	5
2.1. Industria 4.0	5
2.1.1. Los nueve pilares principales de la Industria 4.0	7
2.2. Enfoque de la Industria 4.0 como proyecto de inversión.....	12
2.2.1 Proyecto de inversión y sus etapas	13
2.2.2 Retos de la implementación de la Industria 4.0 en México.....	14
2.3. Modelos de madurez o preparación en Industria 4.0	16
2.3.1 IMPULS – Preparación para la Industria 4.0.....	18
2.3.2 Evaluación de modelos de madurez	19
2.4. Bases para la implementación de la Industria 4.0	20
2.5. Estudios previos	21
3. METODOLOGÍA.....	23

3.1. Etapa 1: Definir medibles, ponderaciones	26
3.1.1 Reuniones con la empresa consultora.....	26
3.1.2 Definición de medibles y ponderaciones según la problemática.....	27
3.2. Etapa 2: Análisis de casos de éxito y almacenamiento en base de datos	28
3.2.1 Análisis de casos de éxito considerando factores clave	28
3.2.2 Almacenamiento en base de datos.....	29
3.3. Etapa 3: Propuesta de uso dentro del problema (uso de modelo propuesto dentro del problema).....	30
3.3.1 Entrevista con cliente.....	31
3.3.2 Aplicación de ponderación para obtener resultados	32
3.4. Etapa 4: Análisis de resultados y retroalimentación de base de datos	32
3.4.1 Análisis de resultados	32
3.4.2 Retroalimentación de base de datos.....	33
4. CREACIÓN DE MODELO PARA SANDALWOOD	34
4.1. Etapa 1: Definir medibles, ponderaciones	34
4.1.1 Reuniones con la empresa consultora.....	34
4.1.2 Definición de medibles y ponderaciones según la problemática.....	36
4.2. Etapa 2: Análisis de casos de éxito y almacenamiento en base de datos	37
4.2.1 Análisis de casos de éxito considerando factores clave	38
4.2.2 Almacenamiento en base de datos.....	40
4.3. Etapa 3: Propuesta de uso dentro del problema (uso de modelo propuesto dentro del problema).....	42
4.3.1 Entrevista con cliente.....	43
4.3.2 Aplicación de ponderación para obtener resultados	44
4.4. Etapa 4: Análisis de resultados y retroalimentación de base de datos	45
4.4.1 Análisis de resultados	46
4.4.2 Retroalimentación de base de datos.....	47
5. APLICACIÓN DEL MODELO SANDALWOOD EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA AUTOMOTRIZ	48
5.1. Introducción del modelo en la empresa consultora	48
5.2. Capacitación del ingeniero de proyectos	49

5.3. Aplicación del modelo por parte del ingeniero de proyectos	51
5.3.1 Caso empresa manufacturera automotriz 1 (Toluca).....	51
5.3.2 Caso empresa manufacturera automotriz 2 (Guanajuato)	52
5.4. Evaluación del modelo por parte del ingeniero de proyectos	54
5.4.1 Tiempo de evaluación.....	54
5.4.2 Facilidad del proceso	55
5.4.3 Objetividad de los resultados	56
5.4.4 Utilidad del modelo (Retroalimentación)	56
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	58
6.1 Conclusiones	58
6.2 Recomendaciones	60
6.3 Trabajos futuros.....	62
7. REFERENCIAS	64
8. ANEXOS	68
ANEXO 1 Ejemplo de formato de minuta para primeras reuniones	68
ANEXO 2 Formato de minuta para primeras reuniones.....	69
ANEXO 3 Cuestionario para evaluar el nivel de madurez en Industria 4.0	70
ANEXO 4 Ayuda visual para aplicación de cuestionario de evaluación de Industria 4.0	72
ANEXO 5 Ayuda visual para análisis comparativo entre el resultado obtenido y los casos de éxito	73

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Las cuatro etapas de la revolución industrial (Adaptado de Zhou, Liu y Zhou, 2015)</i>	6
<i>Figura 2.2. Los 9 pilares de la Industria 4.0 (Adaptado de Gómez Barrios et al., 2020)</i> 8	
<i>Figura 2.3. Etapas de un proyecto de inversión (Adaptado de Bayly, 2017)</i>	12
<i>Figura 3.1. Propuesta de modelo usado como herramienta (Fuente: Elaboración propia)</i>	25
<i>Figura 3.2. Pasos recomendados para definir medibles y ponderaciones (Fuente: Elaboración propia)</i>	28
<i>Figura 3.3. Proceso de filtrado y almacenamiento de casos de éxito en una base de datos (Fuente: Elaboración propia)</i>	30
<i>Figura 4.1. Ejemplo de portada de documento analizado (Fuente: Elaboración propia)</i> 38	
<i>Figura 4.2. Sharepoint de la compañía para documentar proyectos realizados (Fuente: Elaboración propia)</i>	39
<i>Figura 4.3. Carpetas con archivos dentro de cada proyecto exitoso (Fuente: Elaboración propia)</i>	40
<i>Figura 4.4. Base de datos para los proyectos evaluados en Industria 4.0 (Fuente: Elaboración propia)</i>	42
<i>Figura 4.5. Ejemplo de evaluación realizada con el archivo del cuestionario en Excel (Fuente: Elaboración propia)</i>	45
<i>Figura 4.6. Ejemplo de filtrado de datos en el archivo de Excel (Fuente: Elaboración propia)</i>	46
<i>Figura 4.7. Uso del botón “SAVE” en cuestionario de Excel para almacenar datos (Fuente: Elaboración propia)</i>	47
<i>Figura 5.1. Presentación del modelo para los ingenieros de proyectos (Fuente: Elaboración propia)</i>	49
<i>Figura 5.2. Evidencia de capacitación a ingeniero de proyectos (Fuente: Elaboración propia)</i>	50
<i>Figura 5.3. Evaluación realizada a empresa en Toluca (Fuente: Elaboración propia)</i> 52	

Figura 5.4. Evaluación realizada a empresa en Guanajuato (Fuente: Elaboración propia)..... 53

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Principales modelos existentes de madurez de la Industria 4.0.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3.1. Formato de cuestionario propuesto.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4.1. Formato correspondiente al plan de trabajo.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5.1. Evaluación del modelo por parte del ingeniero de proyectos</i>	<i>57</i>

1. INTRODUCCIÓN

Para las empresas o departamentos que se dedican a proveer servicios de implementación de sistemas de la Industria 4.0, principalmente aquellas con un enfoque apegado a la consultoría, el tiempo y la forma en la que se evalúa un proyecto con un cliente es un punto clave para el éxito de la misma, pues le atribuyen un mayor valor competitivo en el mercado. Por lo cual, es necesario contar con un modelo o herramienta que facilite la identificación de los factores o puntos críticos para la implementación de la Industria 4.0 en sus procesos con el fin de poder evaluar un proyecto de forma más rápida y eficiente.

El objetivo es diseñar un modelo para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 de una empresa y desarrollar una herramienta con la que una empresa consultora pueda brindar un servicio más eficiente y completo al evaluar proyectos de implementación relacionados que repercutan positivamente en la reducción de los tiempos dedicados a la evaluación correspondiente.

En esta sección se presenta dónde se realizó el proyecto, la problemática planteada, los objetivos, la hipótesis a comprobar y la justificación del mismo.

1.1. Presentación

La problemática a resolver se desarrolló en la ciudad de Hermosillo, Sonora para la empresa consultora “Sandalwood Engineering and Ergonomics de México”, en el departamento de Integración de Sistemas (“Systems Integration”) para una empresa manufacturera seleccionada por la consultora.

Sandalwood es una firma de consultoría con cuatro años de presencia en México, aunque, su oficina central y compañía madre se encuentra ubicada en Michigan, Estados Unidos, donde ha completado una gran cantidad de proyectos para distintas empresas desde 1989. Sin embargo, es importante mencionar que, a pesar de la amplia experiencia con la que cuenta esta empresa de consultoría, actualmente se han

encontrado algunas dificultades que resultan ser críticas dentro del proceso de inicio de proyectos para el departamento de integración de sistemas, pues al tratar con la mayoría de sus clientes al igual que distintos prospectos, se ha encontrado el gran problema de cómo definir o evaluar el grado de implementación que tienen los clientes o posibles clientes dentro de la Industria 4.0, es decir, qué tan preparados se encuentran para adoptar dicha revolución industrial y qué necesitan para obtener un buen nivel de implementación de dicha industria.

Según lo comenta el actual gerente de la empresa de consultoría, dicho problema resulta ser muy recurrente al querer proporcionar servicios de instrumentación e implementación de sistemas para la Industria 4.0 en cualquier empresa, ya que al no conocer tanto el cliente como el consultor, el nivel de preparación de una empresa para implementar todo lo requerido en esta cuarta revolución industrial, tiende a ser muy difícil evaluar el proyecto como tal.

1.2. Planteamiento del problema

Desde los inicios de la compañía sólo se ha logrado evaluar un proyecto de este tipo en Hermosillo y ciertamente el tiempo que les tomó llevar a cabo dicha evaluación fue de al menos 3 meses, según la información del gerente de Sandalwood, el cual así mismo agregó que para evaluar este tipo de proyectos, el proceso actual aún no se encuentra bien definido, pues simplemente se evalúa de la misma forma que otro tipo de proyectos en los que ha trabajado la empresa consultora anteriormente, diferentes a los de instrumentación o implementación de sistemas para Industria 4.0, donde un ingeniero comienza por hacer un levantamiento en el cual se recolecta toda la información valiosa para llevar a cabo la evaluación, posteriormente se ven con el cliente las posibles opciones que existen, para así finalmente, definir los costos y tiempos de entrega del proyecto terminado. Sin embargo, la empresa de consultoría “Sandalwood Engineering and Ergonomics de México” tiene grandes problemas al evaluar los proyectos de implementación de la también llamada cuarta revolución industrial, pues al querer brindar un mejor servicio, ser más competitivo y poder evaluar un proyecto de manera más rápida y eficiente, con el fin de poder ofrecer alternativas

de servicios del departamento de integración de sistemas, actualmente se desconoce cómo evaluar adecuadamente el nivel de preparación que tiene una empresa para poder implementar exitosamente lo requerido por la Industria 4.0.

1.3. Objetivo general

Diseñar un modelo para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 de una empresa y desarrollar una herramienta con la que la empresa consultora pueda brindar un servicio más eficiente y completo al evaluar proyectos de implementación relacionados.

1.4. Objetivos específicos

- Identificar y analizar los factores o puntos críticos que definen en general el nivel de preparación con el que cuenta una empresa manufacturera para poder implementar la Industria 4.0.
- Analizar los casos reales donde la empresa consultora ha desarrollado proyectos de implementación en Industria 4.0 en otros países para determinar la batería de propuestas que pueden ser consideradas en la herramienta.
- Desarrollar una herramienta que sea utilizada como instrumento de evaluación y análisis comparativo para la medición del nivel de preparación de una empresa de manufactura para implementar la Industria 4.0.
- Evaluar la herramienta propuesta para conocer su validez y grado de efectividad en la implementación en al menos una estación trabajo de una empresa.

1.5. Hipótesis

Contar con un modelo de evaluación del grado de madurez en Industria 4.0 y una herramienta con el acceso a los casos de éxito de la empresa consultora, reducirá

significativamente el tiempo de evaluación y generación de propuestas de la empresa consultora.

1.6. Alcances y delimitaciones

Para desarrollar la herramienta se analizaron los proyectos exitosos de la empresa consultora, considerando únicamente a los que se tuvo acceso para así obtener una lista de características que permitan identificar el grado de madurez en los casos de éxito y una vez creada la herramienta propuesta, se probó en una empresa automotriz en función de dichas características en el área de producción de al menos una estación de trabajo que la empresa nos indicó o autorizó.

1.7. Justificación

Este proyecto se realizó debido a la necesidad de mejorar el proceso de evaluación del departamento de sistemas de integración de la empresa de consultoría “Sandalwood Engineering and Ergonomics de México” para sus posibles clientes, con el fin de obtener una herramienta o instrumento capaz de evaluar eficazmente el nivel de preparación con el que cuenta una empresa y así mismo agilizar el proceso de evaluación de proyectos de implementación de Industria 4.0 de la empresa de consultoría, para con lo anterior aumentar de manera considerable la cantidad de proyectos en los que la firma consultora pueda trabajar, haciendo de esta empresa una entidad más competitiva en el mercado.

Además, al obtener dicha herramienta o instrumento de evaluación, será posible, por parte de la empresa de consultoría, brindar mejores servicios para las empresas que deseen implementar la Industria 4.0 en sus procesos, lo cual apoyará al crecimiento de las industrias generando más y mejores empleos dentro de empresas más modernas.

2. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se desarrolla la revisión literaria con base al planteamiento del problema descrito anteriormente y así mismo sustenta de manera teórica y práctica la solución al problema. El cual se divide en cinco secciones principales, donde primero se presenta la Industria 4.0 como un concepto complejo del cual se resalta lo principal y lo más relativo al cumplimiento del objetivo de este trabajo, así como sus conceptos clave más importantes; enseguida se presenta todo lo relacionado a la esencia de un proyecto de inversión, haciendo énfasis en cómo la implementación de la cuarta revolución industrial para cualquier empresa debe ser vista como un proyecto de inversión; posteriormente se presenta lo relacionado con la evaluación del nivel de preparación en Industria 4.0 según factores claves vistos en casos de éxito de la implementación de dicha industria, y, derivado de ello, se exponen herramientas o métodos prácticos como apoyo tanto para el almacenamiento de datos, como para la evaluación del nivel de preparación para el cambio a la cuarta oleada industrial dentro de una empresa manufacturera; y, finalmente, los estudios previos relacionados con el tema.

2.1. Industria 4.0

Es de suma importancia explicar detalladamente la historia y el significado del concepto de Industria 4.0, pues dicho término representa la base principal de lo que trata este trabajo en general. Por lo tanto, es necesario describir cómo el desarrollo de la industria moderna se define como un proceso que se ha venido trabajando desde el comienzo de la misma industria en sí y por consiguiente se puede decir que la industria ha comenzado con su cuarta revolución industrial, la cual se refiere al término de hoy en día conocido como Industria 4.0 (I4.0). Así mismo, se debe recordar que dicho término fue propuesto inicialmente para el desarrollo de la economía alemana en el año 2011 (Roblek, Meško y Krapež, 2016). Además, al tratar de comprender de una manera más clara dicho concepto, es necesario considerar la referencia que hace a una nueva industria que surge a consecuencia del desarrollo del Internet de las cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés) y el Big Data, es decir los masivos.

Recordando que la tercera revolución industrial estaba basada en el procesamiento de información de los procesos y la tecnología de la información que respalda a la fabricación, ahora se ha pasado a una cuarta ola industrial, donde se ha comenzado a trabajar con productos inteligentes, impresoras 3D e incluso vehículos autónomos (Vaidya, Ambad y Bhosle, 2018). Entonces, el término de Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial, recordando de la primera revolución a aquella que estaba relacionada con la mecanización de la producción con ayuda de las máquinas de vapor, mientras que la segunda revolución estuvo definida por la producción en masa gracias a la inclusión de la electricidad en sus procesos y siguiendo a ésta, se vivió o se sigue viviendo aún para muchas empresas, la tercera revolución industrial, donde con el uso de controladores informáticos y electrónicos se logró una mayor automatización de los procesos de producción (Witkowski, 2017). Todo este proceso evolutivo de la industria se puede observar de una forma gráfica en la figura 2.1.

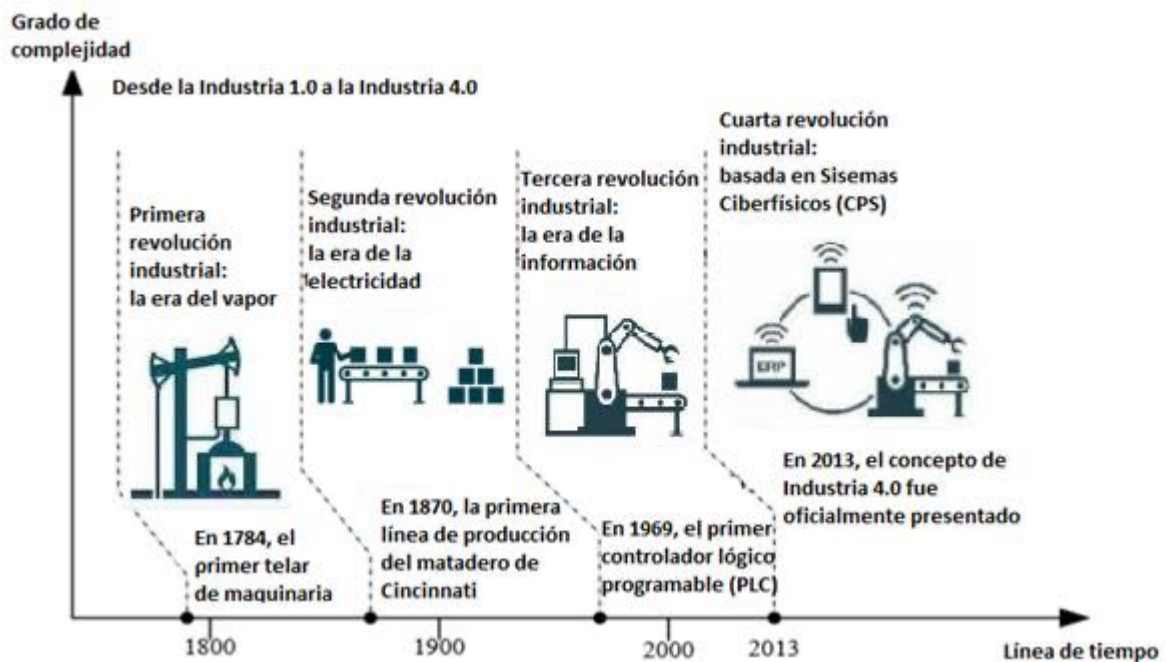


Figura 2.1. Las cuatro etapas de la revolución industrial (Adaptado de Zhou, Liu y Zhou, 2015)

Así mismo, Lu (2017) define al concepto de la cuarta ola industrial como la integración de maquinaria y toda la instrumentación con sensores y software en red, con el objetivo

de predecir, controlar y planificar mejores resultados para empresas o para cualquier espacio de trabajo deseado, que si bien, dicha definición es importante para comprender el concepto en general, se debe destacar que los objetivos de esta industria son: lograr un mayor nivel de eficiencia operativa y productividad, así como un mayor nivel de automatización (Thames y Schaefer, 2016), donde además es vital conocer las cinco características principales de dicha revolución industrial, las cuales comprenden: la digitalización, optimización y personalización de la producción; automatización y adaptación; interfaz hombre máquina (Human Machine Interface, HMI por sus siglas en inglés); servicios y negocios de valor agregado, e intercambio y comunicación de datos automáticos (Roblek, Meško y Krapež, 2016).

De igual forma, en esta revolución industrial se puede destacar su base en la fabricación inteligente con tecnología de sistemas ciberfísicos (en inglés, Cyber-Physical Systems, abreviadamente CPS) para cambiar la producción centralizada hacia la producción descentralizada, para cambiar los productos populares hacia productos personalizados y aumentar la participación de los usuarios (Zhou, Liu y Zhou, 2015), donde al hablar de tecnología CPS, Samad y Annaswamy (2011) mencionan que estos sistemas se encuentran en la etapa inicial de desarrollo, donde es esencial definir claramente la estructura y metodología de éstos como pautas para su implementación en la industria. Además, al integrarlos con la producción, la logística y los servicios en los sistemas industriales actuales, transformarían las fábricas comunes en fábricas de la Industria 4.0 con un potencial económico significativo (Lee, Bagheri y Kao, 2015).

2.1.1. Los nueve pilares principales de la Industria 4.0

Debido a la complejidad del término con el que se le ha denominado a esta cuarta ola industrial, es importante comprender los conceptos principales de donde surge como tal esta cuarta revolución industrial, pues al tratar de comprender dicho concepto resulta necesario conocer los componentes o las partes que en conjunto forman el término conocido como Industria 4.0, que se debe analizar como un conjunto de tecnologías o herramientas tecnológicas, que si bien, ya existen de forma individual o

básica dentro de las industrias manufactureras, con esta nueva revolución industrial, dichas tecnologías en conjunto se convertirán en un proceso completamente integrado, automatizado y optimizado que mejorará de forma significativa la eficiencia y cambiará la relación tradicional entre proveedores, productores y clientes, así como entre personas y máquinas (Tremosa, 2017), donde tales herramientas tecnológicas pueden simplificarse en un total de nueve tecnologías principales, como se muestran en la figura 2.2, también conocidas como “Los 9 Pilares de la Industria 4.0”, los cuales son de suma importancia para analizar y describir el nivel de madurez que tiene una empresa dentro de la cuarta revolución industrial e inclusive representan los cimientos del mismo movimiento industrial (Albarrán-Trujillo, Salgado-Gallegos y Pérez-Merlos, 2020).

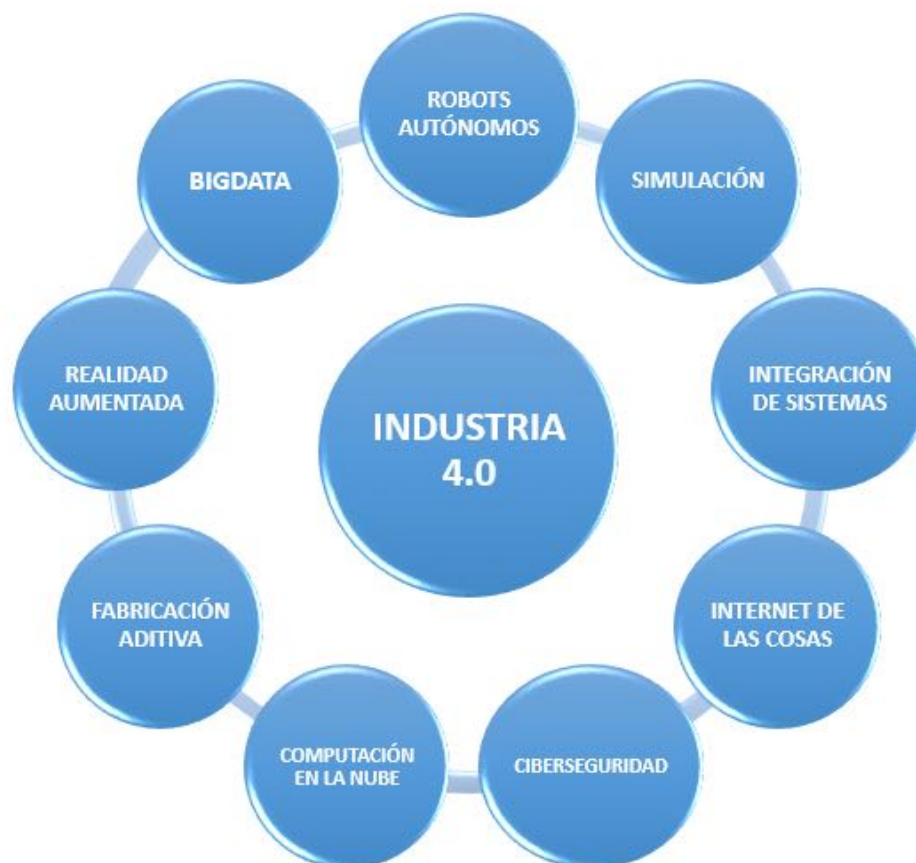


Figura 2.2. Los 9 pilares de la Industria 4.0 (Adaptado de Gómez Barrios et al., 2020)

Internet de las cosas

Recordando que son el Internet de las cosas y el Big Data son los principales conceptos base, donde el primero según Atzori, Iera y Morabito (2017), define al Internet de las cosas como un término que aprovecha soluciones de interconexión entre objetos vía internet, así como objetos físicos con realidad aumentada, para apoyar el diseño de aplicaciones involucrando en el mismo nivel virtual a las personas y a las representaciones de objetos o máquinas.

Big Data

Mientras que el concepto de Big Data se puede definir como todos aquellos activos de información de un gran volumen, alta velocidad y gran variedad que exigen formas factibles, rentables e innovadoras de procesamiento de información para una mejor comprensión y toma de decisiones dentro de cualquier proceso o actividad, haciendo de la tarea de recolección y análisis de datos, un factor sumamente importante y crítico al momento de utilizar esta tecnología dentro cualquier actividad o proceso en una empresa (Gandomi y Haider, 2015).

Así mismo, además de explicar los conceptos de Internet de las cosas y Big Data, que son dos de los nueve pilares tecnológicos, también hay que tener en claro las definiciones del resto de los pilares mostrados en la figura 2.2.

Por lo tanto, se debe explicar de manera simple y concreta el significado de Ciberseguridad, Integración de Sistemas, Computación en la nube, Realidad aumentada, Simulación, Fabricación aditiva o 3D y Robots autónomos (Gómez-Barrios, Figueroa-Fernández, Jiménez-García y Hernández-González, 2020).

Ciberseguridad

Comenzando con el primer pilar mencionado, es decir, el correspondiente a Ciberseguridad o seguridad informática, según Stevens (2018) define un concepto algo complejo, que se puede describir de forma amplia como un medio o una herramienta

con el objetivo de proteger y defender a la sociedad, así como a sus infraestructuras de información esenciales, que de igual forma funciona al mismo tiempo como un sistema que ayuda en la verificación y seguimiento del cumplimiento de las políticas nacionales e internacionales a través de medios tecnológicos de la información.

Integración de Sistemas

Mientras que el pilar correspondiente a la Integración de Sistemas, de acuerdo con Madni y Sievers (2014) se refiere a una herramienta clave para la implementación de la Industria 4.0 dentro de cualquier empresa, pues el concepto por sí solo se define como el proceso de integrar todos los componentes físicos y virtuales del sistema de una organización, donde los componentes físicos consisten en varios sistemas de máquinas, hardware de computadora, inventario, entre otros y los componentes virtuales se refieren a los datos almacenados en bases de datos, software y aplicaciones. Siendo así, el proceso de integración de todos estos componentes de modo que actúen como un solo sistema, el foco principal de la integración de dicho sistema.

Computación en la nube

Por otro lado, para el caso del pilar tecnológico de Computación en la nube, Rahimi *et al.* (2014) describen dicho pilar como una herramienta que tiene como objetivo principal el proporcionar acceso a la información y a los datos en cualquier lugar o en cualquier momento al restringir o eliminar la necesidad de equipos de hardware, esto gracias a una conexión de red donde es posible conectarse a lugares remotos donde se almacena toda la información con la que se trabaja, disminuyendo así la necesidad de mantenimiento a los equipos de hardware en el sitio de trabajo.

Realidad aumentada (AR)

Siguiendo con los pilares tecnológicos, el correspondiente a la realidad aumentada, según Gattullo *et al.* (2019), consiste principalmente en superponer el contenido digital y la información de cualquier tipo de datos en el mundo físico, como si realmente

estuviera presente en el mismo espacio real de una persona, lo que quiere decir que esta tecnología tiene la capacidad de pasar información, datos o figuras de cualquier formato digital a una representación visual en el mundo real, facilitando así la visualización o comprensión de contenido digital.

Simulación

De la misma forma, para el caso del pilar ocupado por el concepto de Simulación, Rodič (2017) señala que dicho término se define como el método de usar modelos de un sistema o un proceso real o simulado para comprender o predecir mejor el comportamiento del sistema o el proceso modelado, de donde surge también el concepto de “Gemelo Digital” que se refiere a una réplica digital de activos físicos potenciales y reales, procesos, personas, lugares, sistemas y dispositivos que pueden usarse para diversos fines.

Fabricación aditiva o 3D

Ahora bien, para terminar con la definición de los nueve pilares de la Industria 4.0, resulta importante de igual manera explicar claramente el significado de los últimos dos pilares, es decir, los correspondientes a la Fabricación aditiva o 3D y los Robots autónomos, los cuales comparten la similitud de pertenecer al entorno físico de la cuarta revolución industrial, donde el primer concepto según Dilberoglu, Gharehpapagh, Yaman y Dolen (2017) hace referencia a todas las técnicas de fabricación por adición de material que son empleadas con el objetivo de producir nuevos componentes o productos complejos y durables.

Robots autónomos

Finalmente, para el último pilar, correspondiente a los Robots autónomos, Vaidya, Ambad y Bhosle (2018) explican que los robots autónomos se utilizan para trabajar en producción de forma autónoma con mayor precisión y también con la habilidad de trabajar en los lugares donde los trabajadores humanos se encuentran laborando, sin exponerlos a algún peligro. Así mismo, los robots autónomos pueden completar una

tarea determinada de manera precisa e inteligente dentro del límite de tiempo dado y también enfocarse en la seguridad, flexibilidad, versatilidad y colaboración, por lo cual, la principal diferencia entre estos robots autónomos y los robots comunes o de la generación pasada, es la seguridad que tienen al poder trabajar de forma colaborativa con las personas en un área de trabajo compartida.

2.2. Enfoque de la Industria 4.0 como proyecto de inversión

Por otro lado, resulta de suma importancia el analizar la implementación de la Industria 4.0 de forma similar a un proyecto de inversión, donde para éste, según Bayly (2017), será importante revisar objetivamente las fases de Prefactibilidad, Inversión, Operación y Evaluación (ver figura 2.3), que en conjunto describen las oportunidades y retos que conlleva este cambio para cualquier industria que desee implementar dicha revolución industrial en sus procesos en general. Sin embargo, también será importante analizar los cambios necesarios tanto a nivel organizacional como a nivel de fabricación, donde se presentará la creación de nuevas áreas de ingeniería con personal altamente capacitado en diferentes tecnologías, además de cambiar los modelos de fabricación manuales a modelos automatizados, lo cual en general necesitara de una capacitación intensiva y constante para todo el personal involucrado en proceso de producción de cualquier empresa, tanto de manera directa como indirecta según sea el caso (Oliva-Navarro y Tinaut-Fluixa, 2018).



Figura 2.3. Etapas de un proyecto de inversión (Adaptado de Bayly, 2017)

2.2.1 Proyecto de inversión y sus etapas

Aunque existen varios tipos de proyectos en los que se podría clasificar la implementación de la Industria 4.0, para el caso de este trabajo y además por ser el más conveniente según los objetivos propuestos al inicio, se optará por hablar únicamente de los proyectos de inversión, los cuales, de acuerdo con Fernández-Espinoza (2007) por su definición conceptual, se definen como el conjunto de inversiones, insumos y actividades diseñadas con el fin de alcanzar un objetivo, o bien, con el fin de eliminar o reducir varias restricciones del desarrollo, para lograr productos, servicios, beneficios o ganancias en términos del aumento de la productividad y del mejoramiento de la calidad de un proceso o producto, que para el caso de la implementación de la Industria 4.0, será de vital importancia considerarla como un proyecto de inversión, pues como mencionan Lasi *et al.* (2014), la implementación de esta cuarta revolución industrial representa un gran cambio que viene acompañado de muchos retos para la industria tradicional que mantienen la gran mayoría de las empresas existentes en el mercado y por lo tanto, las compañías que no comiencen a adoptar esta nueva ideología, es decir esta cuarto ola industrial, se quedarán atrás en la carrera industrial que ya ha comenzado y podrían exponerse al peligro de desaparecer.

Ahora bien, volviendo al concepto de proyecto de inversión, se deben comprender con claridad cada una de sus etapas, que como se había mencionado anteriormente, según Bayly (2017), son cuatro las etapas o fases dentro de todo proyecto de este tipo, las cuales se conocen generalmente como Prefactibilidad, Inversión, Operación y Evaluación, donde Fernández-Espinoza (2007) describe la primer fase como una de las más importantes, pues dentro de ésta fase se llevará acabo el proceso de formulación y evaluación del proyecto con el fin de determinar la posibilidad real de solucionar el problema o darle forma a la idea que puede representar una oportunidad de negocio, todo con el objetivo de conocer los riesgos y beneficios en caso de que el proyecto se realice, para después avanzar a la siguiente fase, es decir, la fase de inversión, en la cual Bayly (2017) resalta que para todos los proyectos, esta “fase de

diseño” representa una etapa donde se invertirá la mayor cantidad de horas en comparación a las demás etapas, pues se considerarán todos los aspectos relacionados con las actividades y el presupuesto necesario para dar inicio a la ejecución del proyecto, o mejor dicho, dar inicio a la fase de operación, donde en resumen se habla del conjunto de actividades realizadas por todo equipo de trabajo para cumplir con el objetivo planteado al inicio del proyecto, el cual para terminar, culmina con la fase de evaluación, que de acuerdo con Contreras y Diez (2015) tiene como objetivo revisar tanto en el transcurso de la etapa de operación, como al final del ciclo de vida del proyecto, que se haya cumplido con el propósito central de resolver el problema, entregar el beneficio o simplemente producir los efectos deseados, pues es de suma importancia que un proyecto sea exitoso, para lo cual se considera que haya cumplido con los objetivos planteados en el tiempo previsto sin exceder el presupuesto con el que se decidió trabajar en un inicio.

2.2.2 Retos de la implementación de la Industria 4.0 en México

Sin duda alguna como todo cambio lo demuestra o requiere, existe una cantidad de retos considerable para la implementación de la Industria 4.0, pues a medida que la tecnología aumenta su capacidad de procesamiento de datos y reduce tanto sus costos de instalación como de operación, su uso presenta la tendencia a ser implementada en una gran cantidad de actividades y por tales razones, se da la posibilidad de que en un futuro próximo, cada vez más organizaciones se interesen por adentrarse en la cuarta revolución industrial para incrementar su productividad y no quedarse atrás con su respectiva competencia, sin embargo, en cualquier caso, es conveniente que sus requerimientos presentes y futuros justifiquen un cambio sustancial respecto a cómo se desempeña el trabajo. Asimismo, la participación del personal es fundamental, puesto que el conocimiento que poseen en el desempeño de sus funciones resulta esencial para generar un proceso de aprendizaje (Lichtblau *et al.*, 2015). Por otro lado, en un nivel especializado, el capital humano habrá de requerir capacitación constante que le permita obtener los conocimientos necesarios para interactuar con equipos inteligentes. Debido a lo mencionado anteriormente, es

importante destacar que la participación de los trabajadores, principalmente administradores y directivos, será primordial para supervisar una correcta toma de decisiones al interior de las empresas, sin importar la autonomía que puedan poseer los sistemas y la maquinaria inteligente (Hernández-Gomez y Hernández-Calzada, 2019).

Hay muchos retos que aún faltan por abordar en cuestión del gran cambio que representa esta cuarta revolución industrial en nuestro país, ya que en México se requiere mucha atención a las cuestiones educativas, debido a que representan un gran obstáculo, pues los niveles de formación académica de la población en general son muy bajos y aunque se está avanzando en centros de innovación y tecnología, además de un rediseño de los planes de estudio actuales, para obtener estas habilidades, la población deberá tener un mayor alcance a educación de niveles superiores, ya que según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), solo el 18% de la población tiene educación media superior, y solo el 3% más tiene educación superior, razón por la cual, si no se trabaja en mejorar el alcance educativo, cualquiera de las reformas planeadas por el gobierno y el sector privado no tendrán los resultados esperados.

Otro problema de la reforma de los planes de estudio es el análisis y necesario de todas las tecnologías que convergen en la Industria 4.0, con el fin de que dichos planes de estudio abarquen todo lo necesario para educar profesionistas competentes y bien capacitados, así mismo, un aspecto fundamental es el equipamiento e infraestructura requerida para la enseñanza y entrenamiento sobre sistemas digitales. Finalmente, si no se sustentan bien estos centros de enseñanza de nada servirán las modificaciones parciales que sigan dejando cortos de habilidades digitales a los futuros profesionistas. De igual manera se debe trabajar en la capacitación de la fuerza labora actual, considerando que con la implementación de sistema ciberfísicos, se perderán muchos empleos, y a la vez, habrá varias plazas nuevas por llenar, para las que seguramente no habrá suficientes capacitados, sin embargo, la proporción de empleos perdidos será

superior generando posiblemente una inestabilidad social (Mejía-Huidobro, Camacho-Vera y Marcelino-Aranda, 2019).

2.3. Modelos de madurez o preparación en Industria 4.0

Por otra parte, volviendo al objetivo principal de este trabajo, hay que recordar que se busca diseñar un modelo y su instrumentación como herramienta que permita en una empresa de manufactura evaluar de forma apropiada su nivel de madurez o preparación en Industria 4.0, para lo cual, es necesario conocer algunos de los modelos de madurez existentes con el fin de encontrar similitudes, destacar las principales diferencias y así mismo desarrollar un modelo propio que cumpla con los objetivos de este trabajo, donde de igual forma, para cumplir con dichos objetivos, se debe comprender con claridad el significado de “modelo de madurez”, que según Simpson y Weiner (1989), en general, el término “madurez” se refiere a un estado de estar completo, perfecto o listo e igualmente implica algún progreso en el desarrollo de un sistema, a lo que en consecuencia, los sistemas en maduración (por ejemplo, los sistemas biológicos, productivos, industriales, organizacionales o tecnológicos por mencionar algunos) aumentan sus capacidades a lo largo del tiempo con respecto al logro de algún estado futuro deseable o esperado. Por lo tanto, la madurez se puede apreciar o calificar de forma cualitativa o cuantitativa, ya sea de manera discreta o continua (Kohlegger, Maier y Thalmann, 2009). De modo que por la importancia y la complejidad del tema, se muestran en la tabla 2.1 los principales modelos y herramientas que se han publicado para evaluar la preparación o nivel de madurez de esta cuarta revolución industrial que ya se ha mencionado anteriormente, con el fin de observar de una forma más clara las similitudes y diferencias que se encuentran en los principales modelos existentes.

Tabla 2.1. Principales modelos existentes de madurez de la Industria 4.0.

Nombre del Modelo	Institución / Referencia	Enfoque de la Evaluación
IMPULS – Industrie 4.0 Readiness (2015)	VDMA, RWTH Aachen, IW	Evaluación en 6 dimensiones que incluye 18 campos para indicar la preparación en 5 niveles; Se definen las barreras para avanzar a la siguiente etapa, así como consejos sobre cómo superarlas.
Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0 (2016)	(Lanza <i>et al.</i> , 2016)	Evaluación de la madurez de la Industria 4.0 como una verificación rápida y parte de un modelo de proceso para su realización; están previstos análisis de brechas y una caja de herramientas para superar las barreras de madurez; no se ofrecen detalles sobre los elementos y el proceso de desarrollo.
Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment (2016)	PricewaterhouseCoopers	Autoevaluación online en 6 dimensiones; centrarse en la madurez digital en 4 niveles; se requiere la aplicación como herramienta de consultoría como tarifa de evaluación en 3 de las 6 dimensiones; no se ofrecen detalles sobre los elementos y el proceso de desarrollo.
The Connected Enterprise Maturity Model (2014)	Rockwell Automation	Modelo de madurez como parte de un enfoque de cinco etapas para realizar Industria 4.0; evaluación centrada en la tecnología en 4 dimensiones; no se ofrecen detalles sobre los elementos y el proceso de desarrollo (informe técnico).
I 4.0 Reifegradmodell (2015)	FH – Oberösterreich	Evaluación de madurez en 3 dimensiones que incluyen 13 ítems para indicación de madurez; la madurez se evalúa en 10 niveles; no se ofrecen detalles sobre los elementos y el proceso de desarrollo (proceso de desarrollo no terminado).

(Fuente: Adaptado de Schumacher, Erol y Sihm, 2016)

Cabe aclarar que a pesar de que existen más modelos que sirven para evaluar la madurez de una empresa dentro de la nueva revolución industrial, la tabla 2.1 solo muestra aquellos modelos considerados por varios autores como los mas relevantes

y los mas completos, principalmente debido al uso de una metodología clara y bien fundamentada para cada caso.

2.3.1 IMPULS – Preparación para la Industria 4.0

Ahora bien, es importante resaltar que el desarrollo del modelo de preparación "IMPULS - Industrie 4.0 Readiness" se basa en un conjunto de datos muy completo y además se ofrecen detalles sobre las dimensiones, los elementos y el enfoque de la evaluación propuesta. Además, el modelo se encuentra científicamente bien fundamentado y su estructura, al igual que sus resultados se explican de forma transparente (Lichtblau *et al.*, 2015), mientras que para el caso del resto de los modelos o enfoques mostrados en la tabla 2.1, se ofrece una menor cantidad de detalles sobre el proceso de desarrollo, la estructura y la metodología de evaluación propuesta, por lo cual, al no contar con la información para realizar una comparación detallada entre ellos, se decidió no considerarlos.

Entonces, volviendo al modelo "IMPULS - Industrie 4.0 Readiness", es de alta importancia destacar la base del modelo como tal, donde la definición conceptual de término Industria 4.0 juega un papel muy importante, pues la base del modelo propuesto por Lichtblau *et al.* (2015) tiene como fundamento el análisis de la cuarta ola industrial como un movimiento que consta de seis dimensiones, por lo que un punto clave en esta comprensión es que las dos primeras dimensiones, conocidas como fábrica inteligente y productos inteligentes, se relacionan con el mundo físico, mientras que las siguientes dos dimensiones, es decir operaciones inteligentes y servicios basados en datos, se consideran la representación virtual de las dimensiones físicas. Entonces, según este concepto, la cuarta revolución industrial, es la fusión de los mundos físico y virtual, pero también, para tener un modelo más completo se deben tomar en cuenta dos dimensiones adicionales de aplicación universal, como lo son la estrategia y organización, además de la mano de obra para todo este movimiento, es decir, los empleados. Así finalmente, el modelo mencionado utiliza una evaluación muy completa de cada una de las seis dimensiones con ayuda de un cuestionario donde al final se obtiene una calificación promediada en una escala del 0 al 5, donde el 0

representa que la empresa no cumple con ninguno de los requisitos de la Industria 4.0 y para el caso de la puntuación máxima, es decir, un calificación de 5, se muestra a una empresa que ya ha implementado la cuarta ola industrial y además se considera líder en dicho movimiento.

2.3.2 Evaluación de modelos de madurez

Por otro lado, una vez diseñado el modelo a utilizar para dar solución a una problemática presentada, es muy importante validar que dicho modelo cumpla con lo mínimo para satisfacer las necesidades del usuario, es decir, se debe evaluar el modelo de madurez con el fin de verificar que éste atienda correctamente la problemática a resolver, para lo cual, será necesario recibir una retroalimentación por parte del usuario del modelo, donde dicha retroalimentación podrá ser medida de forma escrita con un cuestionario o de forma oral con una entrevista, considerando para ambas formas la Escala de Likert, la cual según Joshi, Kale, Chandel y Pal (2015), describe una herramienta de medición que sirve para evaluar la opinión de una persona sobre prácticamente cualquier objeto o idea, además de permitir medir actitudes y conocer el grado de conformidad de la persona encuestada según la pregunta o afirmación que se le proponga. Así mismo, resulta muy útil utilizarla en situaciones donde se espera que el encuestado resalte su opinión. Esta escala se utiliza con ayuda de un cuestionario que contempla cierta cantidad de preguntas cerradas y generalmente consta de 5 niveles para la evaluación correspondiente de cada pregunta, como por ejemplo:

1. Muy bien
2. Bien
3. Regular
4. Malo
5. Muy malo

De igual forma, además de considerar la Escala de Likert para el diseño de un cuestionario de evaluación del modelo, se debe tomar en cuenta como enfoque

principal la experiencia del usuario al utilizar el modelo y su herramienta correspondiente, para lo cual Vermeeren *et al.* (2010) definen a la experiencia de usuario como las percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso de un producto, sistema o servicio, de igual forma el concepto por si mismo explora cómo se siente una persona sobre el uso de un producto, es decir, los aspectos afectivos, significativos y valiosos del uso del producto, en resumen toda la experiencia que tuvo el usuario con el producto.

2.4. Bases para la implementación de la Industria 4.0

Sin duda alguna ya se ha explicado de forma clara cuales son los conceptos claves dentro de este gran movimiento industrial, además se ha hablado de los principales retos u obstáculos que van de la mano en la implementación de esta revolución industrial y de igual forma se revisaron de forma eficiente los modelos de madurez o preparación en Industria 4.0 ya existentes, todo esto con el fin de conocer el significado de este término tan complejo, al igual que sus retos y su forma de medición, pero no debe olvidarse que incluso conociendo todo lo anterior, hay que discutir también las bases necesarias para poder iniciar por el camino que exige este gran cambio y para esto, de acuerdo con Varghese y Tandur (2014), las empresas deben comenzar por situar datos y contenido digital tanto de sus procesos como de sus productos en el centro de su modelo empresarial; no hay que olvidar que el objetivo de la cuarta revolución industrial es interconectar e informatizar las industrias tradicionales como la de manufactura para mejorar la adaptabilidad y eficiencia de recursos, así como la mejor integración de los procesos de oferta y demanda entre las fábricas. Por lo tanto, los sistemas como CRM (Customer Relationship Management, por sus siglas en inglés, o bien en español, gestión de relaciones con los clientes), PLM (Product Lifecycle Management, por sus siglas en inglés, o bien en español, gestión del ciclo de vida del producto), ERP (Enterprise Resource Planning, por sus siglas en inglés, o bien en español, planificación de recursos empresariales) y MES (Manufacturing Execution Systems, por sus siglas en inglés, o bien en español, sistemas de ejecución de fabricación) deben estar integrados y deben interactuar bien con el fin de estar en

condiciones de introducir las tecnologías I4.0 (Tremosa, 2017). De tal manera que las bases de la implementación de la Industria 4.0, son las mismas que las bases de su definición conceptual, es decir, el IoT y el Big Data (Witkowski, 2017); cuando hablamos de la cuarta revolución industrial, nos referimos también a un nuevo nivel de organización y control de toda la cadena de valor en los ciclos de vida de los productos, donde el ciclo se centra en los deseos de los clientes cada vez más personalizados y se extiende desde el concepto o idea hasta el pedido, desarrollo, producción y envío de un producto al cliente final y, en última instancia, hasta su reciclaje, incluidos todos los servicios asociados (Lichtblau *et al.*, 2015).

2.5. Estudios previos

Ahora bien, la forma de llevar a cabo este proceso de cambio del cual se ha estado hablando, con el fin de alcanzar esta nueva etapa en la industria, conocida como Industria 4.0, según un estudio realizado en Italia, radica en la posibilidad de medir el nivel de preparación que tiene una empresa para implementar la Industria 4.0 en sus procesos, analizando con ayuda de una encuesta la madurez que dicha empresa tiene en las 7 principales áreas que definen a esta cuarta revolución industrial (Chiarini, Belvedere y Grando, 2020).

Ciertamente para que una empresa inicie su camino dentro de la cuarta revolución industrial, es de suma importancia realizar un análisis y una planeación enfocada en 4 principios fundamentales: Arquitectura Modular, donde los sistemas de producción están formados por distintos componentes; Calidad de Datos, la cual debe contener grandes cantidades de información que sea variable, rápida en su proceso, confiable y de un gran valor para la empresa (Orzes, Poklemba y Towner, 2020). Siendo también otro principio fundamental la Cooperación Indirecta de la Maquinaria, que indica una conexión en todos los sentidos para los equipos que forman parte del proceso de producción y por último, se debe considerar la Adaptación por Imitación, donde muchas soluciones a un problema ya existen en otros campos de aplicación, siendo así posible realizar una imitación con simples modificaciones que concuerden con la industria deseada (Jäger, Schöllhammer, Lickefett y Bauernhansl, 2016).

En otro estudio realizado por investigadores del Instituto Nacional de México, del campus Celaya, a través de la aplicación de técnicas metaheurísticas, específicamente el algoritmo de búsqueda tabú, se optó por definir un orden lógico a la secuencia de implementación de herramientas de la Industria 4.0, de tal manera que se contemplara para dicho orden el máximo beneficio minimizando los costos que las propias herramientas conllevan, donde partiendo de la definición conceptual de la Industria 4.0 se consideraron 3 rubros para clasificar los 9 pilares tecnológicos, siendo así algo clave, la conectividad de los sistemas tecnológicos, la toma de decisiones en tiempo real y el aumento de eficiencia en los sistemas productivos (Gómez Barrios *et al.*, 2020).

3. METODOLOGÍA

Dentro de este capítulo se propone una metodología para el diseño de un modelo y su instrumentación como herramienta que permita evaluar el nivel de preparación en la Industria 4.0 de una empresa de manufactura con el objetivo de hacer más rápido y eficiente el proceso de la empresa consultora. De igual forma, cabe destacar que durante la revisión de la literatura se han encontrado algunas metodologías basadas en el diseño de modelos para la evaluación de madurez o preparación en Industria 4.0, de las cuales se hizo un análisis comparativo para identificar características comunes que además se adapten a la problemática que aborda el presente trabajo y así poder utilizar como fundamento o base dentro de la metodología propuesta en este segmento. Además, es importante señalar que esta investigación tiene un alcance de tipo descriptivo (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio, 2014), ya que se busca especificar los factores críticos y características comunes relacionadas con lo requerido dentro de la Industria 4.0 en una empresa de manufactura, para después someter dichos datos a un análisis comparativo con la información de una base de datos.

Entonces, con el fin de solucionar la problemática presentada se propone una metodología en la cual sea posible desarrollar y adaptar un modelo al igual que su instrumentación como herramienta para solucionar el problema presente en el proceso de evaluación de proyectos de implementación de Industria 4.0. Para lo cual, dicha metodología consiste en 4 etapas y son: la definición de medibles y ponderaciones, fundamentados en una revisión de la literatura. Después, el análisis de los casos de éxito de la empresa consultora en conjunto con un almacenamiento adecuado en la base de datos de la misma empresa. Siguiendo así la etapa correspondiente a crear un modelo que mida el grado de madurez que tiene una empresa o cliente con el fin de implementar la Industria 4.0 en sus procesos, llegando al mismo tiempo a un desarrollo y adaptación del modelo propuesto con su instrumentación como herramienta, buscando solucionar el problema y así en la misma etapa seguir con la

implementación del modelo en la industria, para finalmente, hacer un análisis de resultados con el ajuste correspondiente del modelo y la retroalimentación de la base de datos.

En resumen, dentro de la primera etapa se encuentra la base de la metodología, pues es de suma importancia definir los medibles y ponderaciones realizando una revisión en la literatura, considerando también la información que la empresa consultora tiene en su base datos, para así pasar a la etapa del análisis de los proyectos exitosos que ha llevado a cabo la empresa, con el fin de conocer detalladamente las características en común de dichos proyectos, pensando en el grado de madurez en Industria 4.0 como enfoque clave, además de detectar la problemática que tuvieron y comprender el ambiente en el cual se desarrollaron. En base a lo anterior, para la siguiente etapa, se desarrollará o adaptará el modelo y su instrumentación como herramienta, que considerando factores críticos o esenciales para la implementación de la I4.0, se reducirá considerablemente el tiempo requerido para evaluar ese tipo de proyectos, optimizando el proceso actual con el cual la empresa consultora trabaja. Así mismo, dentro de esta etapa, se establecerá un plan de trabajo que apoye en la implementación de la herramienta propuesta para uso de la consultora, para después pasar a la última etapa, donde se realizará un análisis de la efectividad y eficiencia de lo implementado, que servirá para analizar los resultados obtenidos y ajustar el modelo de ser necesario, para luego hacer una retroalimentación de la base de datos y finalmente poder trabajar con las conclusiones finales del proyecto.

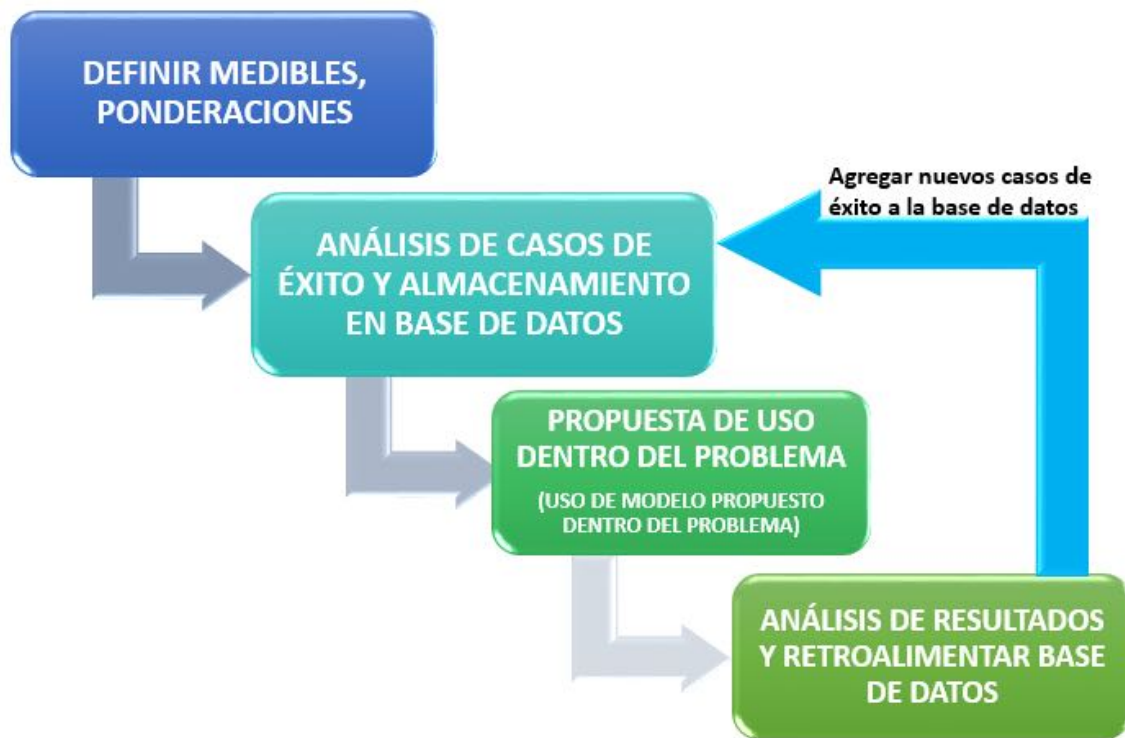


Figura 3.1. Propuesta de modelo usado como herramienta (Fuente: Elaboración propia)

Así, en la figura 3.1, se puede observar que el modelo consta de cuatro etapas principales en las cuales existen una serie de actividades que dan soporte al objetivo de cada una de las etapas correspondientes. Además, es importante mencionar, que el modelo presentado es el resultado de una revisión literaria, además de la combinación de actividades, etapas y conceptos del modelo IMPULSE de Lichtblau *et al.* (2015) que sirvieron como base para el diseño del modelo propuesto. Adicionalmente, cabe destacar que cada etapa y actividad se debe realizar con previa explicación al personal que estará involucrado y cada una de ellas deberá acompañarse de una continua revisión de resultados para minimizar cualquier tipo de errores. A continuación, se brinda una descripción detallada de cada una de las etapas, así como las actividades que se irán desarrollando a lo largo de este trabajo.

3.1. Etapa 1: Definir medibles, ponderaciones

Objetivo: conocer la empresa consultora, así como la situación inicial con la que se debe trabajar para proponer medibles y ponderaciones según la problemática. De tal modo que los resultados esperados de esta etapa serán el diagnóstico inicial, el conocimiento del proceso de trabajo, el resultado de la problemática a trabajar, el área o departamento en el que se implementará la metodología y finalmente, el tener un acercamiento con el personal de la empresa de consultoría.

Entonces, a continuación se describen las actividades que forman parte de la primera etapa.

3.1.1 Reuniones con la empresa consultora

Definitivamente el comienzo de cualquier trabajo incluye como primer paso las visitas o reuniones para poder conocer la empresa con la que se trabajará y debido a esto se llevan a cabo una serie de reuniones con el objetivo de analizar cuál es la situación de la compañía consultora, cómo es que cada departamento o área se involucran entre sí y ver de qué manera se llevan a cabo todos los procesos, además de cuáles son aquellos procesos o procedimientos esenciales al momento de evaluar un proyecto. Por lo tanto, dentro del análisis empresarial es de suma importancia observar la comunicación que existe entre el personal y así mismo es recomendable programar reuniones de manera periódica para conocer la situación real de la empresa de consultoría, considerando mínimo 1 reunión por semana, aunque para obtener resultados de forma más rápida y eficiente, es mejor considerar de 2 a 3 reuniones por semana. Donde para lo anterior, el número de semanas, así como de reuniones dependerá de la disponibilidad que la empresa brinde.

Por otra parte, es de similar relevancia que toda observación o comentario por parte de la empresa sea documentado para posteriormente analizarse y así mismo es importante que durante este proceso se empiece a construir una buena relación con el personal de la empresa.

Así finalmente, cabe destacar, que para la documentación de las reuniones se puede utilizar como apoyo el formato de minuta que se muestra en el anexo 1, ubicado en el apartado o capítulo final de este trabajo.

3.1.2 Definición de medibles y ponderaciones según la problemática

Ya con el conocimiento de la empresa consultora, sus procesos y la problemática a tratar, se debe continuar con la definición de los medibles y ponderaciones que se utilizarán para poder analizar de mejor forma la situación por la cual está pasando la compañía con el fin de comprender aún mejor la problemática y de igual manera tratar de resolver dicha problemática.

Para lo anterior es necesario realizar una investigación en la literatura con el objetivo de revisar todos los conceptos necesarios y así mismo buscar posibles soluciones al problema, además de conocer situaciones similares donde se haya utilizado algún método para conseguir resolver problemáticas similares y así finalmente hacer un análisis de los posibles indicadores o medibles haciendo uso de un enfoque comparativo donde se tenga como prioridad utilizar los medibles y las ponderaciones más actualizadas considerando que ambas cosas se encuentren bien fundamentadas, además de manejar un forma fácil y sencilla de utilizarse al momento de que se decida adecuarlas a la problemática específica a tratar. Sin embargo para cualquier tipo de problema se recomienda hacer uso de los siguientes pasos mostrados en la figura 3.2, siempre teniendo como enfoque los objetivos a cumplir y la situación de ambiente donde se desarrolla la problemática.

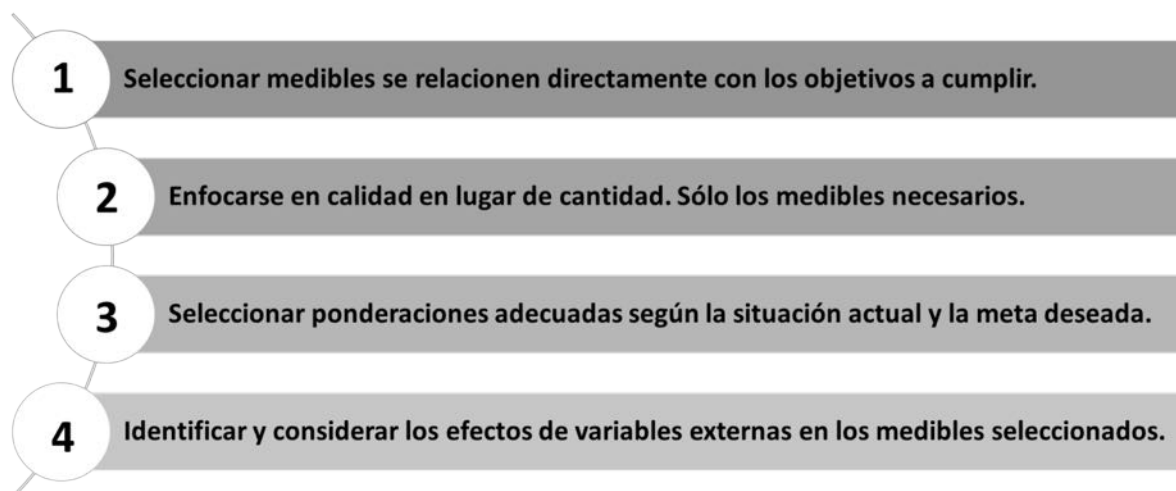


Figura 3.2. Pasos recomendados para definir medibles y ponderaciones (Fuente: Elaboración propia)

3.2. Etapa 2: Análisis de casos de éxito y almacenamiento en base de datos

Objetivo: esta etapa consiste en realizar una revisión de todos los casos de éxito de la empresa que sean concernientes con la problemática a tratar, donde para realizar de forma correcta dicha revisión, es importante la verificación así como la depuración de la documentación, ya que de esta forma se permite descartar todo aquel material innecesario o fuera de la problemática a resolver. Así mismo, permite encontrar factores clave o puntos críticos comunes en los casos de éxito. Donde éstos se deberán almacenar en una base de datos adecuada a los recursos o herramientas que la empresa tenga a su disposición.

En base a lo anterior, para llevar a cabo esta etapa se realizan las siguientes actividades:

3.2.1 Análisis de casos de éxito considerando factores clave

Al momento de realizar un análisis de los casos considerados como exitosos por parte de la empresa consultora, es importante revisar a detalle toda la información concerniente a cada caso de éxito, es decir, revisar toda la documentación importante de los proyectos completados exitosamente por parte de la empresa de consultoría,

que bien, muy posiblemente tengan en común un gran cantidad de características similares debido a varios factores críticos, los cuales principalmente podrían ser el cliente para el cual se realizó el proyecto, la ubicación del lugar donde se llevó a cabo el trabajo, el tipo de proyecto en el cual se trabajó, la duración del proyecto y la problemática a resolver para cada proyecto, pues bien, en el ramo de la consultoría, la gran mayoría de los proyectos se enfocan en la solución de problemas específicos o especiales, además del soporte a las áreas con mayor carga de trabajo.

Considerando los factores antes mencionados, además de la definición previa de los medibles y las ponderaciones a utilizar para el modelo que se pretende implementar como solución a la problemática en la compañía de consultoría se debe realizar un análisis que tome en cuenta cada uno de los factores críticos con un enfoque en la importancia o el impacto que tiene cada factor según los medibles correspondientes, es decir, de forma simple lo que se pretende hacer es analizar la documentación de los proyectos exitosos buscando características comunes que cumplan con los criterios definidos por los medibles, para así aplicar la ponderación correspondiente y poder analizar la información de una forma cuantitativa y a la vez poder trabajar con la información de una manera mas clara y concisa.

3.2.2 Almacenamiento en base de datos

Después de recolectar la información adecuada para trabajar en el diseño del modelo y su instrumentación como herramienta, será de suma importancia y muy necesario, contar con una base de datos, que si bien la mayoría de las empresas cuentan con una propia, para el caso de la empresa consultora donde se presenta la problemática a resolver, la base de datos que se tiene no es lo suficientemente práctica para trabajar de la forma en la que se pretende realizar tanto el análisis como la construcción del modelo, por lo cual es necesario adecuar la base de datos de ser posible, o en caso de no poder modificar la estructura o el orden de la base de datos con la que la empresa trabaja, también es posible realizar una copia y trabajar sobre ella, evitando así problemas con dañar la información o modificar los procesos con los cuales el personal de la empresa consultora ya esté acostumbrado a manejar.

De tal forma que todo lo anterior puede resumirse en la figura 3.3, considerando un proceso simple en el análisis de casos de éxito y su almacenamiento correspondiente en una base de datos.

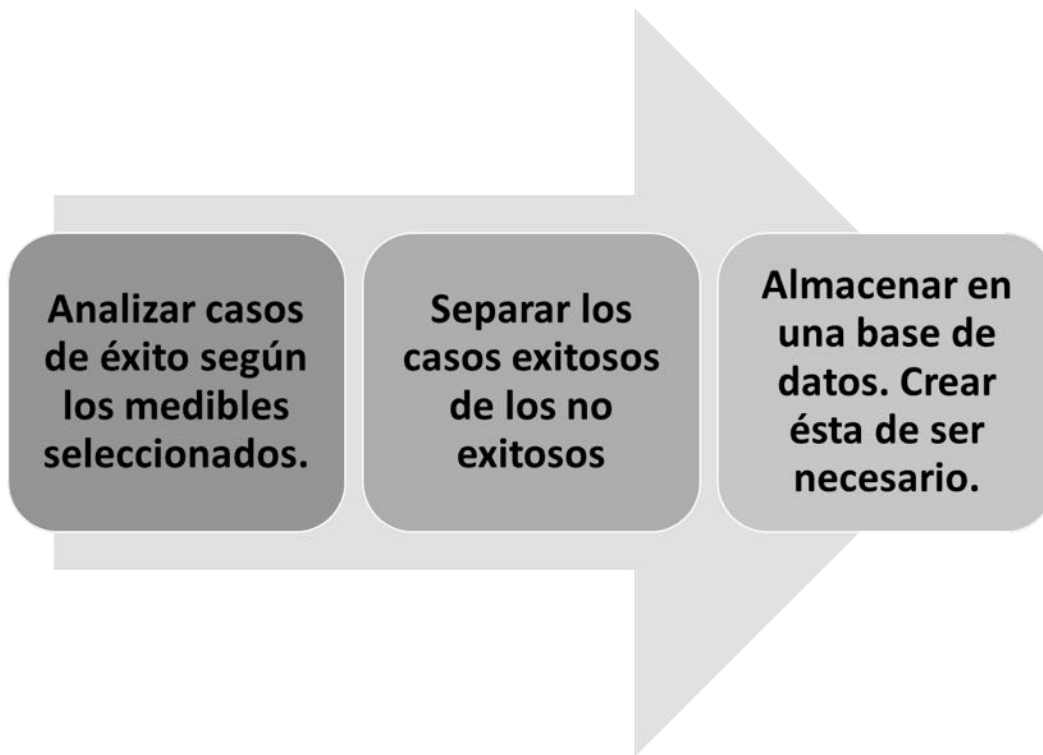


Figura 3.3. Proceso de filtrado y almacenamiento de casos de éxito en una base de datos (Fuente: Elaboración propia)

3.3. Etapa 3: Propuesta de uso dentro del problema (uso de modelo propuesto dentro del problema)

Objetivo: Al contar con los medibles, las ponderaciones y el análisis de los casos de éxito, el siguiente paso es el uso del modelo propuesto dentro del problema, para lo cual en esta etapa se pretende definir cual será el uso o la forma de utilizar el modelo como herramienta para solucionar la problemática presentada.

Por lo que para llevar a cabo esta etapa se deben realizar las siguientes actividades:

3.3.1 Entrevista con cliente

Para la empresa consultora con cada proyecto nuevo hay que medir la madurez o el nivel de preparación del cliente (empresa de manufactura) en función de los indicadores definidos (para este caso particular se decidió usar un cuestionario como el de la tabla 3.1) para lo cual se consideran los factores críticos que más se adapten al problema y que además cuenten con un sustento en la literatura, para después de calcular el nivel de madurez según dichos factores críticos y con la ponderación correspondiente previamente definida, se prosiga a comparar el resultado con lo almacenado en la base de datos para así llevar a cabo una evaluación más eficiente y rápida, ya que existirá una referencia similar o igual en el mejor escenario, lo cuál ayudará reducir los tiempos de espera para las propuestas solicitadas por los clientes de la compañía consultora, además de brindar servicios más acertados o precisos para la solución de los problemas que los clientes presenten.

Tabla 3.1. Formato de cuestionario propuesto

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN DE EMPLEADOS					
1.- Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.					
DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (I4.0)	Sin habilidades para los 9 pilares de la I4.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la I4.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la I4.0 (5 a 9 pilares)

(Fuente: Elaboración propia)

Debido a lo anterior, se debe tener una entrevista con el cliente, donde además de conocer la problemática específica presentada por el mismo, también se debe aplicar un cuestionario genérico como el de la tabla 3.1, que consistirá en una serie de preguntas básicas y sencillas, con el cual se podrá realizar una evaluación del nivel de madurez o preparación en Industria 4.0 correspondiente a la empresa de manufactura del cliente.

3.3.2 Aplicación de ponderación para obtener resultados

Ya que se ha aplicado el cuestionario al cliente se debe realizar la ponderación correspondiente para obtener el resultado final que muestre el nivel de madurez o preparación en Industria 4.0 que tiene la empresa evaluada, para así poder indicar cual es la situación actual en la que se encuentra la empresa de manufactura y con eso poder detectar las necesidades que tiene o los requerimientos necesarios para solucionar la problemática presentada por el mismo cliente, ya que sin duda alguna, al conocer la situación donde se encuentra el cliente, dentro del camino o etapa de transición a la nueva industria, será posible brindar una solución mas acertada de forma más rápida y eficiente, dándole además mayor confianza al cliente al mostrarle un proceso de evaluación robusto y bien fundamentado en la literatura.

3.4. Etapa 4: Análisis de resultados y retroalimentación de base de datos

Objetivo: El análisis de resultados es una parte fundamental dentro de toda investigación, pues en dicho análisis se debe procesar toda la información que ha ido apareciendo en el trabajo con el fin de intentar presentarla de manera ordenada y comprensible para así intentar llegar a las conclusiones que los datos originen.

Entonces, para este caso en particular, el objetivo de esta etapa es analizar los resultados de la aplicación del modelo, así como los resultados del cuestionario en comparación con la información de la base de datos, con el fin de proporcionar al cliente una evaluación más rápida y eficiente, así como validar la eficiencia del proceso de evaluación de la compañía consultora.

Por lo tanto, a continuación se describen las actividades que forman parte de esta última etapa.

3.4.1 Análisis de resultados

Con el fin de llevar acabo un análisis de resultados, se deben eliminar datos innecesarios, además de transformar los datos a utilizar para poder analizarlos de

manera conjunta y sistemática con el objetivo de conseguir que toda la información obtenida en el trabajo sea útil y lleve a conclusiones avaladas por la misma información, llegando así mismo a una orientación en la toma de decisiones según el nivel de madurez o preparación en Industria 4.0 para la empresa de manufactura evaluada.

Adicionalmente, se debe realizar una comparación entre el resultado obtenido en la evaluación y los resultados o niveles madurez almacenados en la base de datos, pues posiblemente se encontraran proyectos similares dentro de los casos de éxito, donde las propuestas correspondientes sirvan como referencia para nuevas propuestas, brindando soluciones adecuadas al cliente de forma más eficiente y rápida.

Así mismo, al realizar un buen análisis de los resultados, se obtendrán conclusiones que ayudarán tanto a la revisión del buen funcionamiento del modelo como también a la revisión de indicadores internos de la empresa de consultoría con el fin apoyar en la reducción de tiempo y uso de recursos al momento de realizar evaluaciones de proyectos de implementación de Industria 4.0 para cualquiera de sus clientes o prospectos.

3.4.2 Retroalimentación de base de datos

Finalmente, ya analizados los resultados correspondientes al uso del modelo de evaluación, se realizará una retroalimentación de la base de datos para así robustecer el modelo y de igual forma robustecer la base de datos con mayor cantidad de información para comparar y analizar en las siguientes evaluaciones, donde para lo anterior, es importante considerar tanto los proyectos exitosos como la información de todas las evaluaciones de proyectos, pues al tener un mayor número de evaluaciones será mas sencillo encontrar diversidad en las referencias para futuras evaluaciones, agilizando el proceso de construcción de propuestas para clientes que necesiten de soluciones similares.

4. CREACIÓN DE MODELO PARA SANDALWOOD

En el presente capítulo se explica cómo la metodología propuesta ha sido aplicada en una empresa de consultoría y así mismo, en los párrafos subsecuentes se describen las actividades que se desarrollaron en cada una de las etapas para cumplir con los objetivos de este trabajo.

4.1. Etapa 1: Definir medibles, ponderaciones

Esta etapa permitió conocer la empresa y saber cuál era la situación inicial con la que se debía trabajar, así como la problemática de la misma para proponer medibles y ponderaciones según dicha problemática. Es por ello que en la empresa “Sandalwood Engineering and Ergonomics de México” se llevaron a cabo las siguientes actividades descritas a continuación.

4.1.1 Reuniones con la empresa consultora

La primera actividad consistió en una serie de reuniones con el objetivo de analizar la situación de la organización, así como también la problemática presente en su proceso de evaluación de proyectos de implementación de Industria 4.0, aclarando que las primeras visitas fueron de presentación con la dirección de la empresa así como con los encargados o responsables de cada uno de los departamentos, donde dichas visitas consistieron en discutir la problemática presentada por parte de gerencia y los posibles resultados que esperarían encontrar al final de la implementación de la solución propuesta.

La información presentada por gerencia se dio a conocer dentro de una de estas reuniones llevadas a cabo de forma virtual con ayuda de la plataforma “Microsoft Teams”. Se realizaron 3 reuniones antes de determinar cuál sería el departamento con el cual se trabajaría, así como la forma en que se llevaría a cabo la implementación del modelo propuesto y como resultado se decidió que sería el departamento de integración de sistemas el que se consideraría, tomando en cuenta entre las razones principales las siguientes: □

- Es el departamento donde se llevan a cabo la mayor cantidad de proyectos relacionados con la Industria 4.0
- Es el departamento con el cual la empresa quiere trabajar las implementaciones de Industria 4.0 en general
- Es el departamento que cuenta con la forma mas estructurada para almacenar la información de los proyectos que ha realizado

Una vez determinado el departamento de estudio, se llevó a cabo una presentación del posible plan de trabajo del proyecto y se hizo la aclaración con el personal responsable, que las etapas y actividades podrían sufrir modificaciones, pues estas saldrán del análisis que durante esta primera etapa se realizará. La tabla 4.1 muestra el plan de trabajo que se le presentó al personal.

Tabla 4.1. Formato correspondiente al plan de trabajo

PLAN DE TRABAJO				
EMPRESA: SANDALWOOD ENGINEERING AND ERGONOMICS DE MEXICO				
PERIODO: ENERO 2020 - MAYO 2021				
Objetivo del proyecto: Diseñar un modelo para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 de una empresa y desarrollar una herramienta con la que la empresa consultora pueda brindar un servicio más eficiente y completo al evaluar proyectos de implementación relacionados.				
PERIODO	ACTIVIDAD	AREA DE TRABAJO	OBJETIVO	HERRAMIENTA O ESTRATEGIA PROPUESTA
Marzo - Julio del 2020	Diagnóstico de la empresa	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas	Conocer el estado actual de la empresa, principalmente del departamento de Integración de Sistemas para identificar la problemática	Observación y captura de información en las reuniones correspondientes
Agosto del 2020	Analizar la problemática de la empresa	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas (revisar directamente con el gerente de la consultora)	Realizar una propuesta de mejora según la problemática presente	Reunión para presentar propuesta y analizar según la retroalimentación obtenida
Septiembre - Noviembre del 2020	Diseñar y aplicar el modelo propuesto	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas	Poner a prueba el funcionamiento del modelo propuesto	Presentación del modelo y aplicación de encuestas
Diciembre - Febrero del 2020	Análisis de resultados de la aplicación del modelo propuesto	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas (revisar directamente con el gerente de la consultora)	Análisis de resultados y posible ajuste del modelo según se necesite	Presentación de los resultados y del análisis correspondiente
Marzo - Abril del 2020	Evaluación de proyecto	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas	Evaluar si el proyecto cumplió con el objetivo	Revisar el cumplimiento del objetivo del proyecto y verificar que los resultados sean los esperados por la empresa consultora
Abril - Mayo del 2020	Finalización del proyecto	Gerencia, Departamento de Integración de Sistemas	Dar formatos de la encuesta a la empresa y capacitar al personal en el uso del modelo propuesto	Reunión para capacitación del personal y entrega de formatos para la aplicación del modelo

(Fuente: Elaboración propia)

Después de las primeras reuniones tanto con el gerente como con el personal correspondiente al departamento de integración de sistemas, se llevaron a cabo reuniones adicionales donde se buscó establecer una buena relación con el personal de la empresa y así mismo aprovechar para analizar el departamento de integración de sistemas, pues es donde se llevaría a cabo el proyecto.

Entonces, dentro del análisis empresarial fue importante observar la comunicación existente entre el personal y también analizar la información de lo observado.

Para lo anterior, se llevaron a cabo al menos 2 reuniones por mes aproximadamente y cada una de las reuniones con el personal fue registrada utilizando un formato de minutas, el cual se puede observar con un ejemplo en el anexo 2.

4.1.2 Definición de medibles y ponderaciones según la problemática

Para la definición de los medibles y las ponderaciones adecuadas a la problemática presentada por la empresa consultora se realizó una investigación en la literatura y simultáneamente se revisaron las posibles opciones tanto con el gerente de la compañía como el personal encargado del departamento de integración de sistemas, llegando a la conclusión de utilizar como medibles a los 9 pilares de la Industria 4.0, así como también el nivel de habilidad o conocimiento del personal en dichos pilares.

Así mismo, para el caso de las ponderaciones, se tomó la decisión de utilizar la escala más común observada en los modelos de madurez existentes, es decir la escala del 0.0 al 5.0, considerando para el modelo propuesto en este trabajo la reducción de dicha escala, definiendo así una escala reducida del 0.0 al 4.0, pues no sería necesario considerar evaluar del nivel 4.0 al 5.0, ya que es un rango de nivel muy avanzado, que según la literatura, ninguna empresa por el momento cuenta con dicho nivel, por lo que para fines prácticos, en acuerdo con la empresa consultora, se tomó la decisión de no considerar ese rango evaluación.

Entonces, la ponderación quedaría definida en una escala del 0 al 4 para cada indicador y para el nivel de madurez general se consideraría una exactitud de 1 decimal (Por ejemplo 3.6).

Así, la descripción de los niveles quedaría de la siguiente forma:

- Nivel 0: Nulo ---> Inexistente
- Nivel 1: Principiante ---> Planeación / Pruebas o prototipos aislados
- Nivel 2: Intermedio ---> Presupuesto con estrategia /Implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
- Nivel 3: Experimentado ---> Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que esté todo el departamento
- Nivel 4: Avanzado ---> Implementación avanzada, cumple en gran medida. Se está comenzando a explorar piezas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorreacción.

4.2. Etapa 2: Análisis de casos de éxito y almacenamiento en base de datos

Como se mencionó en el capítulo anterior, en esta etapa se realizó una revisión de todos los casos de éxito que la empresa consideró pertinentes debido a la problemática a tratar, es decir, todo los proyectos relacionados con la implementación de la Industria 4.0, donde para realizar de forma correcta dicha revisión, fue importante la verificación y el análisis, así como la depuración de la documentación de dichos proyectos, ya que de esa forma se pudo descartar todo aquel material innecesario o fuera de la problemática a resolver y así mismo, después de la depuración y el análisis correspondiente, se pudieron encontrar factores clave o puntos críticos comunes en los casos de éxito.

Para llevar acabo lo anterior se llevaron a cabo las siguientes actividades:

4.2.1 Análisis de casos de éxito considerando factores clave

Comenzando con un proceso de familiarización con la documentación de los proyectos exitosos de la empresa, fue necesaria una reunión con el personal del departamento de integración de sistemas, el cual se encargó de explicar el proceso de documentación existente para los proyectos realizados por la empresa consultora, donde dicha reunión sirvió para conocer de forma detallada el proceso de documentación de los proyectos con el objetivo de poder extraer de la documentación toda la información necesaria para analizar dichos proyectos, pues la documentación para cada proyecto suele ser muy extensa y generalmente utiliza un lenguaje algo técnico con una gran cantidad de términos o abreviaturas muy específicas para cada proyecto o cliente como las mostradas en la figura 4.1 (FIS = Factory Information System, CEP = Cleveland Engine Plant), por lo que fue necesario revisar junto con el personal de Sandalwood varios proyectos para comprender de forma clara los términos utilizados, así como las palabras clave para identificar tanto los pilares tecnológicos utilizados como el nivel correspondiente para cada indicador.



Figura 4.1. Ejemplo de portada de documento analizado (Fuente: Elaboración propia)

Adicional a lo anterior, cabe aclarar que previo al análisis de los proyectos exitosos, en la misma reunión, se tuvo un breve presentación, donde se explicaron los medibles y las ponderaciones correspondientes, para de esa forma, llevar a cabo un análisis mas completo.

Por lo tanto, el análisis y la depuración de la información de los proyectos exitosos, se llevó acabo inicialmente con ayuda de la empresa consultora y a conforme se fueron revisando más proyectos, simplemente el personal del departamento de integración de sistemas se encargó de validar el análisis realizado por mi parte.

Además, es importante mencionar que toda la documentación correspondiente a los proyectos realizados por la compañía consultora se encuentra almacenada de forma ordenada en archivos PDF, dentro de un “Microsoft Sharepoint”, como se muestra en la figura 4.2, al cual solo tienen acceso los empleados de la compañía, por lo que para tener acceso, se me otorgó un correo empresarial para dicha plataforma de Microsoft y se acordó no mostrar la información específica de los proyectos, ni los formatos de dichos proyectos por motivos de confidencialidad de la compañía.

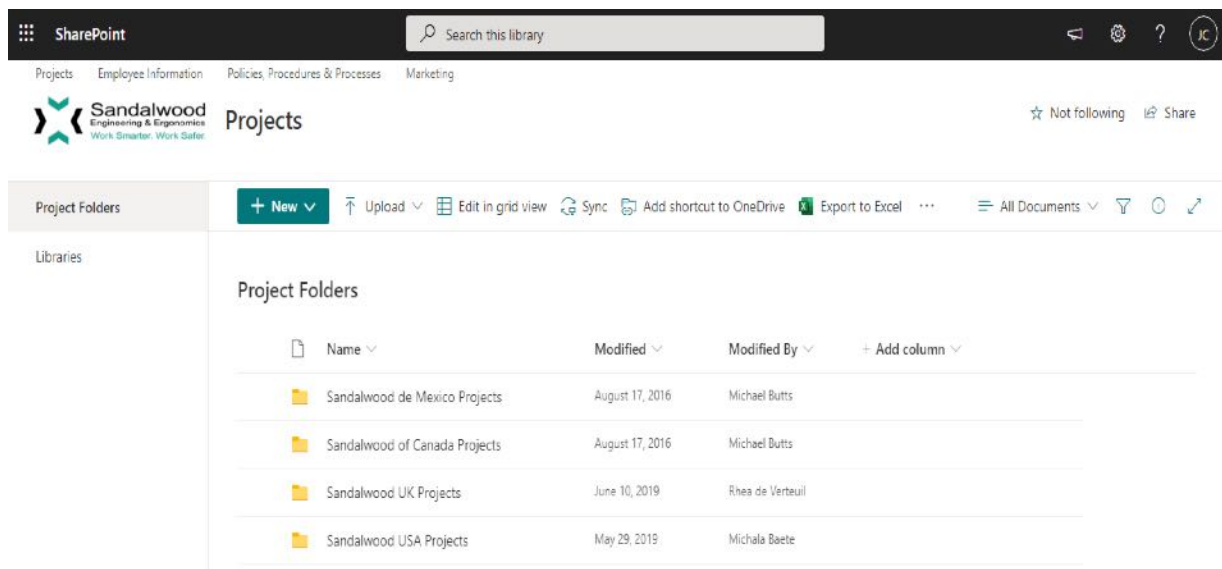


Figura 4.2. Sharepoint de la compañía para documentar proyectos realizados (Fuente: Elaboración propia)

Así mismo, se puede observar en la figura 4.3, la forma estructurada en la que dentro de cada carpeta de proyecto, existen de manera estandarizada alrededor de nueve carpetas más que incluyen diferentes documentos importantes relacionados con la cotización del proyecto, así como también su plan de trabajo, reuniones de inicio con el cliente, reuniones internas de los empleados de la empresa consultora, herramientas de trabajo como formatos específicos del proyecto o del cliente, archivos de control del reporte de avance, reuniones de cierre del proyecto con el cliente, entre otras.

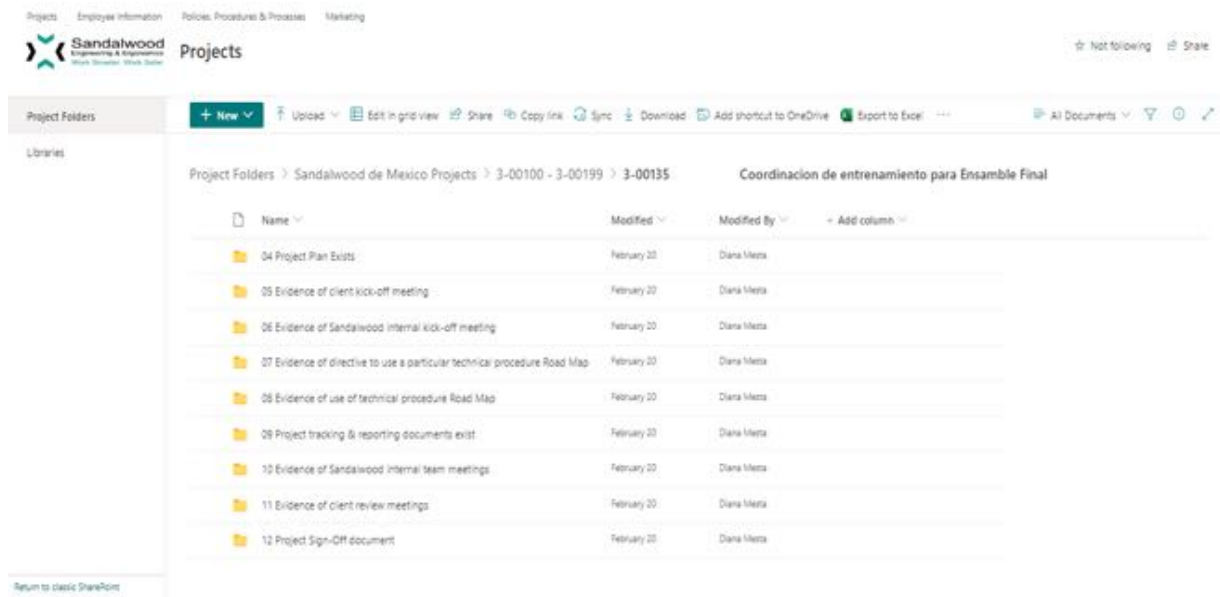


Figura 4.3. Carpetas con archivos dentro de cada proyecto exitoso (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con la capacitación brindada por parte del personal del departamento de integración de sistemas, así como el acceso correspondiente para revisar los proyectos, se pudo concluir con el análisis y la depuración correspondiente para extraer toda información necesaria para la construcción de la base de datos.

4.2.2 Almacenamiento en base de datos

Con el objetivo de trabajar con una base de datos sencilla y práctica para los fines de este trabajo, se tomó como referencia una base de datos existente de la compañía, a la cual se le hicieron modificaciones simples para mostrar toda la información

relacionada con los proyectos exitosos y sus evaluaciones correspondientes de acuerdo tanto a los medibles como a las ponderaciones definidas anteriormente.

Dicha base de datos se estuvo trabajando en un archivo de “Microsoft Excel”, pues la empresa Sandalwood lo prefirió así, ya que su personal ha trabajado durante muchos años con las aplicaciones de Microsoft Office y de hecho también tiene muchos años utilizando las licencias correspondientes dentro de Office365, donde se alojan todas las aplicaciones de Microsoft a las que la compañía consultora tiene acceso.

De acuerdo a los requerimientos de este trabajo, así como a lo solicitado por parte de la empresa consultora, se diseñó la base de datos como se muestra en la figura 4.4, donde se puede observar un orden de arriba hacia abajo que muestra por cada renglón o fila un proyecto realizado o caso de éxito y así mismo un orden en las columnas de derecha a izquierda comenzado con los casos de éxito en la primera columna, luego 7 columnas con la información acerca del cliente y la ubicación del proyecto, siguiendo posteriormente una columna con la evaluación correspondiente a la habilidad o “skill” de los empleados para después seguir con 9 columnas que muestran la evaluación correspondiente a cada uno de los 9 pilares tecnológicos y finalmente dos últimas columnas donde para la primera se muestra el nivel de madurez en Industria 4.0 y la segunda muestra si el proyecto evaluado obtuvo una orden de compra, considerando para cada evaluación de los 10 indicadores el departamento donde se realizó el proyecto.

CASOS DE ÉXITO	UBICACIÓN						LABOR SKILL	PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0							MATURITY LEVEL	PO			
	CLIENTE	CONTACTO	CORREO	TELEFONO	PAIS	CIUDAD		DEPARTAMENTO	ANTECEDENTE	CIBERSEGURIDAD	SIMULACIÓN	BIG DATA	CLOUD COMPUTING	IoT			ROBÓTICA	INTEGRACIÓN	AR
102764 FIS Updatcas for CEP D30 CDEB					USA	CLEVELAND	IT-ENGINE	2	3	3	3	3	1	2	3	0	1	2.1	SI
102783 LMA Implementation for LEP Naoa CHB					USA	LIMA	IT-ENGINE SUB-ASSEMBLY	2	3	3	2	2	2	2	2	0	1	1.9	SI
102907 2-00238 FIS for VPE Goddolls Program					CANADA	WINDSOR	IT-ENGINE ASSEMBLY AND	2	3	3	2	2	1	2	2	0	1	1.8	SI
102932 CMEP2 FIS v46c NMP Circuit					MEXICO	CHIHUAHUA	IT-ENGINE	2	3	3	3	3	1	2	3	0	1	2.1	SI
102977 FIS support STP 2019MY NBR00 LI-P375 program					USA	SHARONVILLE	IT-TRANSMISSION ASSEMBLY AND MACHINING	2	3	3	3	3	1	2	3	0	1	2.1	SI
102978 Monitor Config Services at Chicago Stamping					USA	CHICAGO	STAMPING	0	3	3	1	1	1	2	3	0	1	1.5	SI
102987 FIS STP 2020MY NBR00 Gear and Assembly					USA	SHARONVILLE	IT-TRANSMISSION ASSEMBLY	2	3	3	3	3	1	2	3	0	1	2.1	SI
103007 LMA Upgrade for the STP NBR00 Program					USA	SHARONVILLE	IT-TRANSMISSION ASSEMBLY	2	3	3	3	3	3	2	3	0	1	2.3	SI
103023 VAL NMP C/482 FIS Project					SPAIN	VALENCIA	IT-ASSEMBLY AND BODY SHOP	0	3	3	2	2	1	2	2	0	1	1.6	SI
103043 LMA Upgrade for DSS 20MY Cycles					USA	CLEVELAND	IT-ENGINE	2	3	3	3	3	3	2	3	0	1	2.3	SI
103060 2-00346 FIS support 2020MY Capote Upgrade 2					CANADA	WINDSOR	IT-ENGINE ASSEMBLY	2	3	3	3	3	1	2	3	0	1	2.1	SI
103063 LMA Upgrade for the STP V363 Program					USA	SHARONVILLE	IT-TRANSMISSION ASSEMBLY	2	3	3	3	3	3	2	3	0	1	2.3	SI
103075 LMA Implementation v1 LTP for the IP2 Lig					USA	LIVONIA	IT-TRANSMISSION	2	3	3	3	3	3	2	3	0	1	2.3	SI

Figura 4.4. Base de datos para los proyectos evaluados en Industria 4.0 (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente ya con la base de datos construida se realizó una presentación a gerencia y al departamento de integración de sistemas tanto para su validación como para su familiarización con el objetivo de que se utilizó para la evaluación de todos los proyectos relacionados con la implementación de la Industria 4.0 para cualquier cliente.

4.3. Etapa 3: Propuesta de uso dentro del problema (uso de modelo propuesto dentro del problema)

En esta etapa, al contar con los medibles, las ponderaciones bien definidas y el análisis de los casos de éxito realizado, además de una base de datos adecuada con los casos de éxito ya evaluados, el siguiente paso es el uso del modelo propuesto dentro del problema, para lo cual en esta etapa se determinó el uso o la forma de utilizar el modelo como herramienta para solucionar la problemática presentada, que de acuerdo con la empresa consultora y un análisis en la literatura, se optó por realizar las evaluaciones del nivel de madurez en Industria 4.0 por medio del llenado de un cuestionario por el ingeniero de proyectos durante una entrevista a los clientes, que con ayuda de dicho cuestionario previamente diseñado se realizarían evaluaciones de forma eficiente y sencilla, estandarizada para cualquier cliente de la industria manufacturera.

Por lo que para llevar a cabo esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

4.3.1 Entrevista con cliente

Principalmente la idea es que cada ingeniero de proyectos del departamento de integración de sistemas se familiarice con el procedimiento de cómo aplicar el cuestionario para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 del cliente, por lo que en esta etapa se tuvo una reunión para explicar a los encargados del departamento y al gerente la forma de aplicar el cuestionario dentro de una entrevista con el cliente.

Debido al giro de la empresa consultora, las entrevistas con los clientes son algo muy común y de hecho, el proceso de evaluación que utilizaban anteriormente para los proyectos de implementación de Industria 4.0 era de cierta forma similar al nuevo proceso propuesto con el modelo de madurez, pues la única diferencia es la aplicación del cuestionario de evaluación utilizado que se muestra en el anexo 3, que ahora está estandarizado y se encuentra definido por el modelo propuesto en este trabajo.

Dicho cuestionario, como se puede observar en el anexo 3, consta de un total de 10 preguntas o dimensiones de opción múltiple, donde cada opción es una descripción o evaluación de la situación actual de un medible y además cuenta con notas o preguntas de apoyo para realizar la evaluación correspondiente en cada dimensión, comenzando con el medible del nivel de habilidad de los empleados en lo correspondiente a la Industria 4.0 y siguiendo con la evaluación individual de la situación actual de cada uno de los 9 pilares tecnológicos en la planta, departamento o área de trabajo evaluada.

Para cada pregunta o medible existe una calificación posible del 0 al 4 de acuerdo al nivel correspondiente en el que se encuentre el cliente y cada nivel es representado con un color que va desde un tono rojo al obtener un nivel bajo como 0 hasta un tono verde al obtener un nivel alto como 4.

El cuestionario descrito anteriormente se revisó y explicó detalladamente al personal de Sandalwood para su posterior aplicación de prueba con clientes o prospectos de la

empresa consultora, aclarando que aunque la descripción de cada nivel de evaluación para cada pregunta o medible está escrita de forma muy clara, si es importante explicar cualquier duda o revisar situación especial con el cliente que responda el cuestionario.

4.3.2 Aplicación de ponderación para obtener resultados

Ya que se le ha aplicado el cuestionario al cliente se realiza la ponderación correspondiente para obtener el resultado final que muestre el nivel de madurez o preparación en Industria 4.0 que tiene actualmente la empresa de manufactura del cliente, para así poder indicar cual es la situación actual en la que se encuentra la empresa evaluada y con eso poder detectar las necesidades que tiene o los requerimientos necesarios para solucionar la problemática presentada por el mismo cliente, ya que sin duda alguna, al conocer la situación donde se encuentra el cliente, dentro del camino o etapa de transición a la nueva industria, será posible brindar una solución mas acertada de forma más rápida y eficiente, dándole además mayor confianza al cliente al mostrarle un proceso de evaluación robusto y bien fundamentado en la literatura.

Entonces, para la ponderación de resultados se toma como total el promedio de los niveles obtenidos individualmente para cada medible, es decir, se suman todos los resultados de las preguntas y se dividen entre el número de preguntas, aunque para hacer el proceso más eficiente y rápido, simplemente al contestar las preguntas del cuestionario, el mismo archivo, automáticamente calcula el nivel de madurez obtenido y lo muestra como resultado con ayuda de fórmulas sencillas dentro del programa Excel, lo cuál se puede apreciar a grandes rasgos en la figura 4.5 con un ejemplo. Donde, también es importante considerar que en la etapa final de modelo propuesto, se debe utilizar el botón de “SAVE” para guardar la evaluación finalizada en la base de datos con el objetivo de robustecer el sistema al contar con mayor cantidad de evaluaciones para tomar como referencia en futuros análisis.

Empresa: AUTOMETAL Planta: HMEX Depto. o Área: ESTAMPADO Ciudad: HERMOSILLO
 Nombre del Cliente: JUAN CONTRERAS Teléfono: 8622124524 Correo: JCONTRERAS@AUME País: MEXICO
 Evaluador: JULIO CORTÉZ No. Cotización: _____



1.- Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (I4.0)	Sin habilidades para los 9 pilares de la I4.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la I4.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la I4.0 (5 a 9 pilares)

Preguntarle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuantos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleados y no solo unos cuantos.

NIVEL DE MADUREZ = 1.3



2.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes

Preguntarle al cliente sobre la ciberseguridad. ¿Tienen controles de seguridad para acceder a la información? ¿Hay controles o soluciones de seguridad de tecnologías de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o...

Nivel	Descripción
0	Nulo. Inexistente, desconoce la industria 4.0 en general
1	Principiante. Planeación, pruebas o prototipos aislados
2	Intermedio. Presupuesto con estrategia, implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
3	Experimentado. Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que esté todo el departamento
4	Avanzado. Implementación avanzada, cumple en gran medida. Se está comenzando a explorar piezas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorreacción

3.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
SIMULACIÓN	Sin modelado digital ni planeación a futuro	Sin modelado digital, pero con planeación a futuro	Modelado digital existente a pequeña escala o con poco uso	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos

Preguntarle al cliente sobre el uso de simulación en sus procesos. ¿Tienen algún programa de simulación en uso? ¿Utilizan modelos digitales para algo dentro de sus procesos? ¿A que escala usan el modelado digital en sus procesos o áreas de...

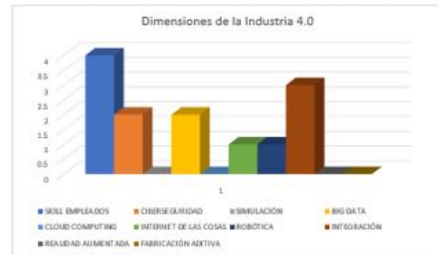


Figura 4.5. Ejemplo de evaluación realizada con el archivo del cuestionario en Excel (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, como se observa en la figura 4.5, el cuestionario se puede responder de una forma sencilla y clara, siempre que el cliente que lo responda sea la persona adecuada, es decir, que el cliente tenga un puesto preferentemente de gerente o de supervisor y que conozca bien el área o departamento a evaluar, pues en caso contrario si podría ser complicado el responder el cuestionario e incluso podría no tener las respuestas correctas o mas apegadas a la realidad.

4.4. Etapa 4: Análisis de resultados y retroalimentación de base de datos

Finalmente para concluir con la implementación del modelo propuesto, el objetivo de esta etapa es analizar los resultados de la aplicación del modelo, así como los resultados del cuestionario en comparación con la información de la base de datos, con el fin de proporcionar al cliente una evaluación más rápida y eficiente, así como validar la eficiencia del proceso de evaluación de la compañía consultora.

Así mismo, al realizar un buen análisis de los resultados, se obtendrán conclusiones que ayudarán tanto a la revisión del buen funcionamiento del modelo como también a la revisión de indicadores internos de la empresa de consultoría con el fin apoyar en la reducción de tiempo y uso de recursos al momento de realizar evaluaciones de proyectos de implementación de Industria 4.0 para cualquiera de sus clientes o prospectos.

4.4.2 Retroalimentación de base de datos

Por último, ya analizados los resultados correspondientes al uso del modelo de evaluación, se realizará una retroalimentación de la base de datos, como se mencionaba al final de la etapa 3 al usar el botón “SAVE” del cuestionario (ver figura 4.7), pues la evaluación realizada automáticamente será almacenada en la base de datos, para así robustecer el modelo y la misma base de datos con mayor cantidad de información para comparar y analizar en las siguientes evaluaciones.

Empresa: AUTOMETAL Planta: INMEX Depto. o Área: ESTAMPADO Ciudad: HERMOSILLO
 Nombre del Cliente: JUAN CONTRERA Teléfono: 662104524 Correo: JCONTRERA@A País: MEXICO
 Evaluador: JULIO CORTES No. Cotización: _____

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN DE EMPLEADOS

1 - Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (H.0)	Sin habilidades para los 3 pilares de la H.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la H.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la H.0 (5 a 9 pilares)	4

Preguntarle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuantos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleados y no solo unos cuantos.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CIBERSEGURIDAD

2 - Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes	2

Preguntarle al cliente sobre la ciberseguridad. ¿Tienen controles de seguridad para acceder a la información? ¿Hay controles o soluciones de seguridad de tecnologías de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o

NIVEL DE MADUREZ = 1.3

Nivel	Descripción
0	Nulo, inexistente, desconoce la industria 4.0 en general
1	Principiante. Planeación, pruebas o prototipos aislados
2	Intermedio. Presupuesto con estrategia, implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
3	Experimentado. Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que <u>esté todo el departamento</u>
4	Avanzado. Implementación avanzada, cumple en gran medida. Se está comenzando a explorar piezas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorreacción

Figura 4.7. Uso del botón “SAVE” en cuestionario de Excel para almacenar datos (Fuente: Elaboración propia)

Para lo anterior, es importante considerar tanto los proyectos exitosos como aquellos en etapa de cotización según el criterio de la empresa consultora, es decir, agregar a la base de datos información de todas las evaluaciones de proyectos con el objetivo de tener una mayor cantidad de proyectos evaluados en la base de datos y así contar con mayor cantidad de opciones de comparación o referencia al momento de evaluar nuevos proyectos.

5. APLICACIÓN DEL MODELO SANDALWOOD EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA AUTOMOTRIZ

Con la presentación del modelo propuesto y su uso como herramienta, tanto el gerente como los líderes de proyectos brindaron su apoyo para implementar dicho modelo dentro de sus procesos, comenzando con pruebas de su uso en proyectos reales, para lo cual se decidió que un ingeniero de proyectos de la compañía consultora se capacitara en el uso del cuestionario y realizara una prueba de su eficacia, con el fin de obtener una evaluación del funcionamiento del modelo Sandalwood aplicado en una empresa de manufactura automotriz.

Por lo tanto, para comprobar el buen funcionamiento del modelo se realizaron las siguientes actividades.

5.1. Introducción del modelo en la empresa consultora

Considerando que el uso del modelo es un gran cambio para la empresa consultora, así como también para los empleados de la misma, se optó por realizar una presentación virtual del modelo a toda la empresa, principalmente al departamento de Integración de Sistemas, pues después de tantos años de trabajar en base a experiencia y guías del proceso de evaluación de proyectos, el implementar una nueva herramienta, como lo es el cuestionario propuesto, además de un nuevo proceso de trabajo, implica un cambio y de cierta forma un gran esfuerzo, además de la inversión de tiempo para adaptarse al nuevo modelo.

Para lo cual, como se aprecia en la figura 5.1, la presentación del modelo a los ingenieros de proyectos de la empresa consultora resultó muy satisfactoria para todos los involucrados, pues no se presentó ninguna resistencia al cambio y además hubo muy buenos comentarios respecto a la implementación del modelo, ya que la mayoría de los asistentes lo vieron más como una necesidad que como una nueva herramienta de apoyo en su trabajo.



Figura 5.1. Presentación del modelo para los ingenieros de proyectos (Fuente: Elaboración propia)

Así mismo, dentro de dicha reunión llevada a cabo con ayuda de Microsoft Teams, se tomó la decisión de escoger a un ingeniero de proyectos para utilizar la nueva herramienta y aplicar el modelo en una empresa manufacturera automotriz, con el objetivo de probar la eficiencia y eficacia del modelo en un escenario real, para después, según los resultados obtenidos en dicha prueba, implementar el nuevo modelo de forma total en el departamento de Integración de Sistemas.

5.2. Capacitación del ingeniero de proyectos

Ya explicado al personal el modelo y la herramienta de forma general, uno de los ingenieros de proyectos con suficiente experiencia, tomó la decisión de ofrecerse como voluntario para realizar la prueba en una empresa de manufactura automotriz en la cual actualmente ya se encontraba realizando un proyecto de soporte.

Entonces, se llevó a cabo una capacitación adecuada para que el ingeniero de proyectos comprendiera de forma clara y precisa el uso tanto del cuestionario como

del modelo propuesto, además se le explicaron de forma detallada los objetivos planteados respecto a la implementación del modelo de evaluación.

Por lo tanto, para la capacitación se tuvo una reunión virtual con el ingeniero de proyectos a través del programa Microsoft Teams, como se muestra en la figura 5.2, donde se le explicó de forma detallada la estructura del modelo y del cuestionario, principalmente la forma de contestar las preguntas y almacenar la información en la nueva base de datos.

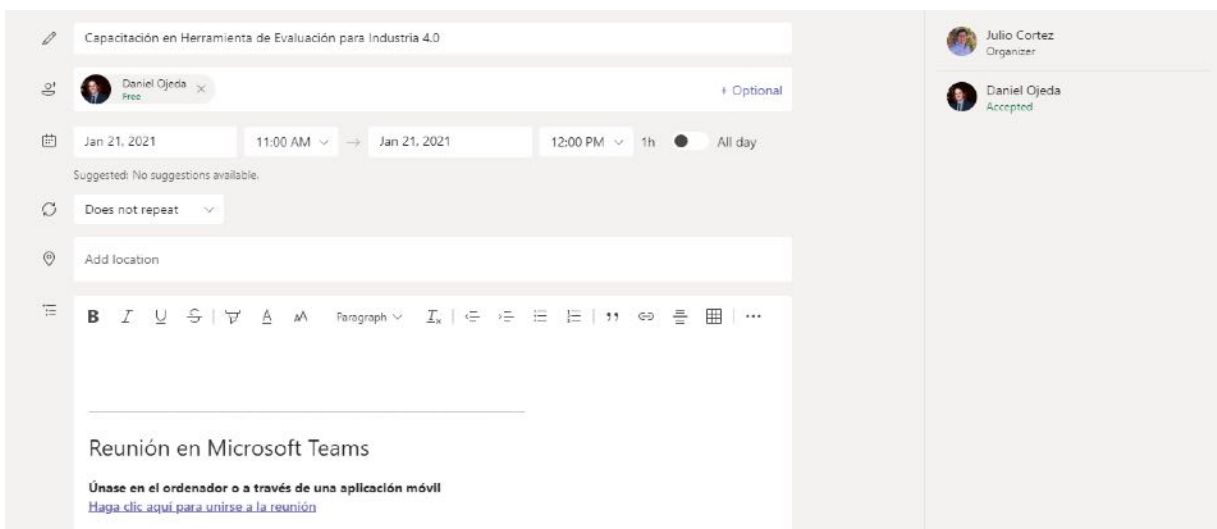


Figura 5.2. Evidencia de capacitación a ingeniero de proyectos (Fuente: Elaboración propia)

Así mismo se realizó una especie de simulacro con el objetivo de preparar de mejor manera al ingeniero de proyectos, donde también se trabajó en ayudas visuales para la aplicación del cuestionario de evaluación de Industria 4.0 y para el análisis comparativo entre el resultado obtenido y los casos de éxito de la empresa consultora, como se muestra en los anexos 4 y 5, donde nuevos ingenieros de proyectos puedan de forma rápida y sencilla consultar el uso adecuado del archivo que contiene el cuestionario de evaluación.

5.3. Aplicación del modelo por parte del ingeniero de proyectos

Para la aplicación del modelo, el ingeniero de proyectos, finalmente decidió realizar la prueba en dos industrias de manufactura automotriz con las que ha realizado anteriormente proyectos de forma exitosa, siendo la primera una empresa ubicada en Toluca y la segunda una con ubicación en Guanajuato.

5.3.1 Caso empresa manufacturera automotriz 1 (Toluca)

De tal forma que para el caso de la empresa ubicada en Toluca se tuvo una reunión virtual a través del programa Microsoft Teams, donde se comenzó por explicar al cliente el objetivo de la reunión y así mismo se aprovechó para ofrecer un poco de consultoría por parte del ingeniero de proyectos, explicando a grandes rasgos los nueve pilares de la Industria 4.0, así como también la importancia de la capacitación del personal dentro de dichas tecnologías, enfocando toda la información en los principales beneficios ofrecidos por la Industria 4.0 para una empresa.

Así mismo se procedió a utilizar la herramienta de evaluación, explicándole al cliente la dinámica a seguir para poder obtener las respuestas a cada una de las dimensiones evaluadas, tal y como se muestra en la figura 5.3.

Empresa: _____ Planta: Lerma - Toluca Depto. o Área: Ingeniería Ciudad: Lerma, Toluca
 Nombre del Cliente: Eduardo _____ Teléfono: _____ 4197 Correo: eduardo.todarte@... País: MEXICO
 Evaluador: Daniel Ojeda _____ No. Cotización: _____



EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN DE EMPLEADOS					
1.- Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.					
DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (I4.0)	Sin habilidades para los 3 pilares de la I4.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la I4.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la I4.0 (5 a 9 pilares)
Preguntarle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuantos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleados y no solo unos cuantos.					

2

NIVEL DE MADUREZ = 1.9



EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CIBERSEGURIDAD					
2.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes
Preguntarle al cliente sobre la ciberseguridad. ¿Tienen controles de seguridad para acceder a la información? ¿Hay controles o soluciones de seguridad de tecnologías de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o					

1

Nivel	Descripción
0	Nulo. Inexistente, desconoce la Industria 4.0 en general
1	Principiante. Planeación, pruebas o prototipos aislados
2	Intermedio. Presupuesto con estrategia. Implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
3	Experimentado. Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que <u>esté todo el departamento</u>
4	Avanzado. Implementación avanzada, cumple en gran medida. Se está comenzando a explorar piezas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorreacción

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SIMULACIÓN					
3.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
SIMULACIÓN	Sin modelado digital ni planeación a futuro	Sin modelado digital, pero con planeación a futuro	Modelado digital existente a pequeña escala o con poco uso	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos
Preguntarle al cliente sobre el uso de simulación en sus procesos. ¿Tienen algún programa de simulación en uso? ¿Utilizan modelados digitales para algo dentro de sus procesos? ¿A que escala usan el modelado digital en sus procesos o áreas de					

3

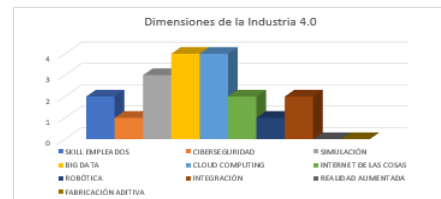


Figura 5.3. Evaluación realizada a empresa en Toluca (Fuente: Elaboración propia)

Es importante aclarar que por motivos de confidencialidad en la figura anterior no se muestran ni el nombre de la empresa ni tampoco los datos de contacto del cliente. Además, dicha evaluación realizada por parte del ingeniero de proyectos, se revisó en una reunión posterior con el objetivo de verificar que las preguntas de apoyo realmente fueran las correctas y cumplieran con su deber, facilitando tanto al ingeniero de proyectos como al cliente la evaluación de cada una de las diez dimensiones evaluadas para obtener el nivel de madurez en Industria 4.0.

Finalmente, tanto el ingeniero de proyectos como el cliente evaluado consideraron muy útil la herramienta, resaltando la importancia de conocer en que nivel se encuentra la empresa y en que áreas o dimensiones es importante invertir recursos de acuerdo a los resultados de la evaluación.

5.3.2 Caso empresa manufacturera automotriz 2 (Guanajuato)

De igual forma, para el caso de la segunda empresa evaluada, con ubicación en Guanajuato, se siguió el mismo procedimiento con una reunión virtual a través del programa Microsoft Teams, donde también se le explicó al cliente el objetivo de la

reunión y se tuvo la oportunidad de dar un poco de consultoría explicando a grandes rasgos los nueve pilares de la Industria 4.0, así como también la importancia de la capacitación del personal dentro de dichas tecnologías, enfocando toda la información en los principales beneficios ofrecidos por la Industria 4.0 para una empresa.

Después se procedió a utilizar la herramienta de evaluación, explicándole al cliente la dinámica a seguir para poder obtener las respuestas a cada una de las dimensiones evaluadas, tal y como se muestra en la figura 5.4. Aclarando que también por motivos de confidencialidad en dicha figura no se muestran ni el nombre de la empresa ni tampoco los datos de contacto del cliente. Además, dicha evaluación realizada por parte del ingeniero de proyectos, también se revisó en una reunión posterior con el objetivo de verificar que los resultados de las dimensiones coincidieran con lo solicitado por las preguntas de apoyo, así como también con lo indicado para cada nivel según la dimensión evaluada.

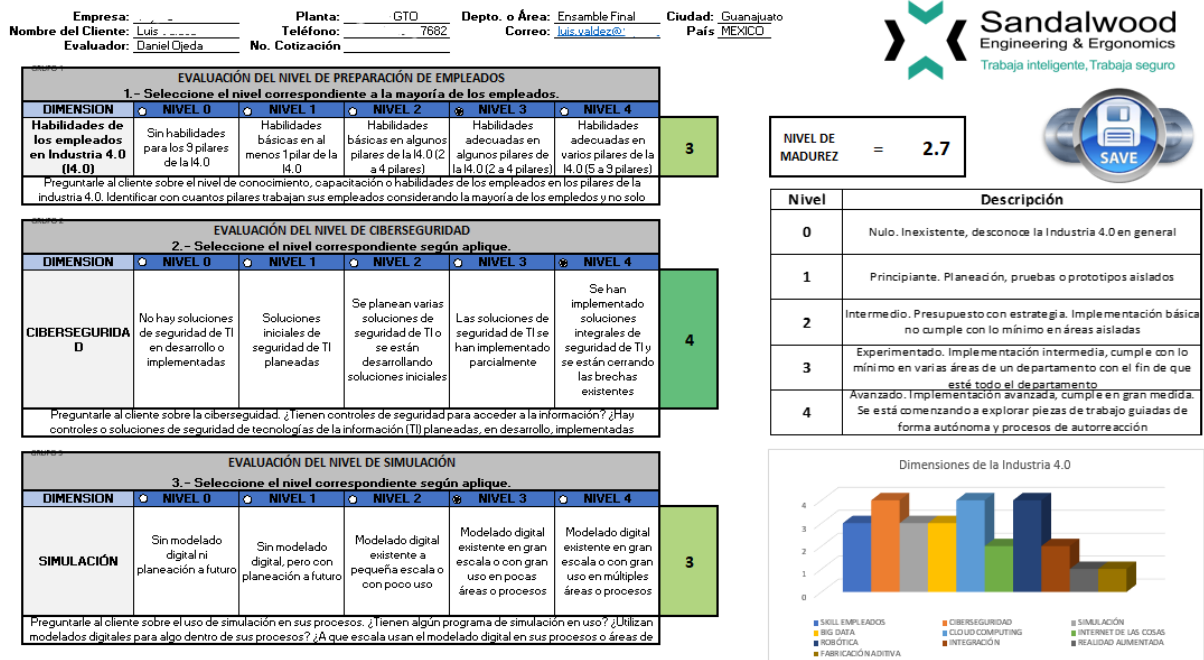


Figura 5.4. Evaluación realizada a empresa en Guanajuato (Fuente: Elaboración propia)

Igual que en el caso anterior, tanto el ingeniero de proyectos como el cliente evaluado consideraron muy útil la herramienta, resaltando la importancia de conocer en que nivel

se encuentra la empresa y en que áreas o dimensiones es importante invertir recursos de acuerdo a los resultados de la evaluación.

Finalmente, en conjunto con el ingeniero de proyectos, se hizo una comparación de las dos evaluaciones realizadas para detectar si existía congruencia en los resultados obtenidos, considerando que la primera empresa evaluada fue de mucho menor tamaño en comparación con la segunda y además en ambas empresas se analizaron departamentos o áreas diferentes, siendo el caso de la primera, una evaluación realizada al área de ingeniería, mientras que para la segunda empresa, se evaluó el área de ensamble final, lo cual fue importante tomar en cuenta al comparar los resultados.

5.4. Evaluación del modelo por parte del ingeniero de proyectos

Con el objetivo de comprobar la eficiencia y la eficacia del modelo Sandalwood, así como también detectar posibles áreas de oportunidad o mejora, se tuvo una reunión con el ingeniero de proyectos que realizó las evaluaciones de prueba en las empresas antes mencionadas, donde en dicha reunión, se revisaron indicadores clave como el tiempo de evaluación, la facilidad del proceso, la objetividad de los resultados y la utilidad del modelo para verificar que éste cumpliera con los objetivos planteados al inicio del trabajo, considerando la experiencia del usuario como enfoque principal, además de comparar el nuevo proceso de evaluación en comparación con el que se tenía antes de la implementación del modelo.

De tal forma que se analizaron los siguientes indicadores y además se tomó nota de los comentarios respecto al uso de la herramienta de evaluación.

5.4.1 Tiempo de evaluación

Respecto a este indicador los resultados obtenidos fueron positivos y cumplieron con las expectativas del usuario, destacando un ahorro de tiempo significativo al considerar que la evaluación realizada por el ingeniero de proyectos fue entre 30 minutos a 1 hora

para ambas evaluaciones de prueba y en palabras del evaluador, se resaltó que en la última evaluación realizada antes de la implementación del nuevo modelo, le tomó más o menos 3 meses concretar dicha evaluación de forma completa, debido a los conocimientos del cliente respecto a su estado actual y sus objetivos a lograr con el servicio solicitado y de igual forma aclaró que la nueva herramienta sirve como una buena guía en su proceso de evaluación, dando resultados más objetivos y precisos para el cliente.

De tal forma que todo lo anterior comprueba satisfactoriamente la hipótesis inicial de este trabajo, pues en efecto, al contar con un modelo de evaluación del grado de madurez en Industria 4.0, la empresa consultora reducirá significativamente el tiempo de evaluación y generación de propuestas.

5.4.2 Facilidad del proceso

Por otro lado, de acuerdo a lo expresado por el ingeniero de proyectos, hay mucha facilidad en el uso de la herramienta, aunque existen puntos de mejora o áreas de oportunidad para que ésta sea aún más sencilla de utilizar y que muestre resultados mas visuales, pero en general el evaluador concluyó que tal y como se encuentra la herramienta sería de gran apoyo y beneficio para todos los ingenieros de proyectos al realizar evaluaciones de este tipo, pues la forma en que anteriormente realizaban el proceso de evaluación de proyectos relacionados con la implementación de la Industria 4.0 era difícil, pues no estaba bien definido el proceso para evaluar proyectos de ese tipo. De manera general, el usuario detectó que la nueva herramienta para realizar evaluaciones correspondientes al nivel de madurez en Industria 4.0 para empresas de manufactura resultó mucho más sencilla de utilizar que la forma anterior en la que él y sus compañeros realizaban las evaluaciones relacionadas, pues no se tenía definido un proceso claro o específico respecto a las evaluaciones de ese tipo, por lo que simplemente se realizaban de forma general, como si fueran de otro tipo de proyectos, que finalmente no tenían mucho en común con aquellos de implementación de la Industria 4.0 en una empresa manufacturera.

5.4.3 Objetividad de los resultados

Para este indicador el evaluador resaltó que no existía una forma o método para evaluar específicamente la Industria 4.0, pues realmente la forma de evaluar proyectos de ese tipo se basaba en un levantamiento de datos y análisis de los requerimientos del cliente, es decir, realmente los resultados obtenidos anteriormente eran poco objetivos al no haber un proceso bien definido para ese tipo de evaluaciones, mencionando que hasta hace poco tiempo se presentó una solicitud de una evaluación del nivel de Industria 4.0, lo cual fue algo complejo, al no existir antecedentes específicos del caso.

Así mismo, el ingeniero de proyectos indicó que la herramienta muestra resultados objetivos en comparación al método anterior que se tenía y sin duda alguna, la nueva forma de evaluar los proyectos relacionados con la Industria 4.0 servirá para los nuevos requerimientos que se ven venir en la industria, pues muchas empresas comienzan a dar el salto a la nueva revolución industrial.

5.4.4 Utilidad del modelo (Retroalimentación)

Finalmente, para concluir con la evaluación del modelo Sandalwood, se le solicitó al ingeniero de proyectos que utilizó la herramienta que diera sus comentarios sobre la experiencia que tuvo en su uso respecto a su utilidad, para lo cual el evaluador destacó que en general la herramienta es muy buena, es rápida y es una buena forma de evaluar al cliente o darle consultoría, además de explicarle o hasta cierto punto “venderle” la idea de la implementación de la Industria 4.0, que realmente es un movimiento que va a llegar a todas las empresas en algún momento. Así, la tabla 5.1 muestra un resumen de la evaluación del modelo por parte del ingeniero de proyectos, considerando los indicadores clave evaluados.

Tabla 5.1. Evaluación del modelo por parte del ingeniero de proyectos

	ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	ESCALA DE EVALUACIÓN
TIEMPO DE EVALUACIÓN	+/- 3 Meses, según el conocimiento del cliente sobre su estado actual y sus objetivos a lograr	30 minutos a 1 hora, según el tiempo que tome el cliente en contestar las preguntas de guía	RANGO DE TIEMPO
FACILIDAD DEL PROCESO	DIFÍCIL	MUY FÁCIL	MUY DIFÍCIL, DIFÍCIL, REGULAR, FÁCIL, MUY FÁCIL
OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	POCO OBJETIVOS	OBJETIVOS	MUY SUBJETIVOS, SUBJETIVOS, REGULAR, OBJETIVOS, MUY OBJETIVOS
UTILIDAD DEL MODELO (RETROALIMENTACIÓN)	N/A (No aplica, pues no había un modelo implementado)	MUY BUENA	MUY MALA, MALA, REGULAR, BUENA, MUY BUENA

(Fuente: Elaboración propia)

En conclusión, la evaluación por parte del ingeniero de proyectos fue muy positiva, pues en general denotó buenos resultados para todos los indicadores evaluados, indicando que tanto el diseño del modelo como el de la herramienta que se utiliza para facilitar las evaluaciones fue el adecuado para la problemática presentada por la empresa consultora. Sin embargo, es importante mencionar que a futuro, cuando la empresa consultora ya tenga cierta cantidad de tiempo utilizando la herramienta, se deberá considerar una evaluación que agregue como indicador clave la eficacia del modelo para la obtención de proyectos exitosos, ya que como enfoque principal, lo más importante dentro de las evaluaciones que realiza la empresa consultora, es la obtención de nuevos proyectos en los cuales pueda trabajar, aunque también resulta importante ser cuidadoso al momento de evaluar la eficacia del modelo, pues muy posiblemente existirán datos fuera de lo común debido a que el proceso de evaluación de proyectos se encuentra unido directamente al proceso de ventas para la obtención de proyectos y en dicho proceso existen muchas variables o factores que puedan afectar el que un proyecto se realice o no, es decir que se compre o no se compre.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se diseñó un modelo y su instrumentación como herramienta para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 en empresas de manufactura, donde después de realizar una investigación en la literatura, con enfoque en los temas de Industria 4.0, modelos de evaluación de madurez y estudios previos relacionados con el tema principal abordado, se tuvieron reuniones con una empresa consultora de nombre Sandalwood Engineering and Ergonomics de México, en la cual existía una situación problemática en la evaluación de proyectos relacionados con la implementación de la Industria 4.0, ya que el proceso para llevar a cabo dichas evaluaciones no estaba estandarizado y tomaba gran cantidad de tiempo en comparación con otras evaluaciones de proyectos distintos de la compañía consultora. Así, la implementación del modelo, en su instrumentación como herramienta, quedó reflejada en un archivo del programa Microsoft Excel que se desarrolló especialmente para la empresa con ayuda de la función de macros, con la finalidad de estandarizar y agilizar el proceso de evaluación de proyectos relacionados con la Industria 4.0.

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del trabajo de investigación y de la implementación del modelo, así como también las recomendaciones y trabajos futuros que se espera puedan retomarse posteriormente con el objetivo de optimizar o adaptar el uso de la herramienta para toda la compañía.

6.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos con la implementación del modelo y la retroalimentación brindada por parte del ingeniero de proyectos que realizó la prueba al usar el cuestionario en una situación real, se puede concluir que este trabajo ayudó a la empresa consultora Sandalwood a mejorar su proceso de evaluación de proyectos relacionados con la Industria 4.0 en comparación con la forma en la que la compañía de consultoría realizaba dichas evaluaciones. Destacando además que se cumplió

satisfactoriamente con el objetivo general propuesto al inicio del trabajo, ya que se pudo diseñar un modelo para evaluar el nivel de preparación en Industria 4.0 de una empresa y de igual forma fue posible desarrollar una herramienta con la que la empresa consultora pueda brindar un servicio más eficiente y completo al evaluar proyectos de implementación relacionados.

Así mismo, para el caso de los objetivos específicos fue posible desde un inicio identificar y analizar los factores o puntos críticos que definen en general el nivel de preparación con el que cuenta una empresa manufacturera para poder implementar la Industria 4.0 y posteriormente analizar los casos reales donde la empresa consultora ha desarrollado proyectos relacionados en México y Estados Unidos para determinar la batería de propuestas que pueden ser consideradas en la herramienta; la cual se pudo desarrollar como instrumento de evaluación y análisis comparativo del nivel de Industria 4.0 para por último pasar a evaluar dicha herramienta con el fin de conocer su validez y grado de efectividad en la implementación dentro de al menos una estación trabajo de dos empresas diferentes.

Por lo tanto, existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis planteada en un inicio, ya que contar con un modelo de evaluación del grado de madurez en Industria 4.0 y una herramienta con el acceso a los casos de éxito de la empresa consultora, redujo significativamente el tiempo de evaluación y generación de propuestas de la empresa consultora.

Adicionalmente, se debe destacar que al poder utilizar un modelo basado en una investigación literaria, los ingenieros de proyectos podrán realizar evaluaciones más objetivas y rápidas, ofreciendo de igual forma mayor confianza a clientes potenciales para nuevos proyectos de la cuarta revolución industrial.

Por otro lado, la metodología propuesta con el enfoque de desarrollar y adaptar un modelo al igual que su instrumentación como herramienta para solucionar el problema presentado, también podría funcionar dentro de la misma compañía para solucionar otros problemas similares o incluso para solucionar problemas de sus propios clientes,

es decir generar mas oportunidades de negocio. Para lo cual, dicha metodología con sus cuatro etapas, se podría adaptar a otros problemas, comenzando con la definición de medibles y ponderaciones, fundamentados en una revisión de la literatura. Después, el análisis de los casos de éxito en conjunto con un almacenamiento adecuado en bases de datos. Siguiendo así la etapa correspondiente a crear un modelo, llegando al mismo tiempo a un desarrollo y adaptación del modelo propuesto con su instrumentación como herramienta, buscando solucionar el problema y así en la misma etapa hacer la implementación, para finalmente, hacer un análisis de resultados con el ajuste correspondiente del modelo y la retroalimentación de la base de datos.

Lo anterior, apoyándose en el uso de la herramienta propuesta, es decir, para el caso particular de este trabajo, el cuestionario de evaluación del nivel de Industria 4.0, plasmado en un archivo de Microsoft Excel que fue diseñado como un cuestionario automatizado y entregado como una versión operativa de prueba que fuera funcional para agilizar y estandarizar el proceso de evaluación de proyectos relacionados, ya que con una serie de preguntas definidas con su ponderación correspondiente y una evaluación automática al responderlas, se facilitó para los empleados de la empresa de consultoría el realizar las evaluaciones correspondientes de manera mas objetiva y sencilla.

6.2 Recomendaciones

Con el objetivo de poder implementar correctamente la metodología propuesta, así como la herramienta utilizada para el resto de los departamentos de la empresa consultora y también obtener los resultados esperados, se presentan a continuación algunas recomendaciones a considerar en cada etapa:

- Etapa 1: Definir medibles y ponderaciones. Es de suma importancia identificar de la forma más precisa posible el problema a tratar, además de los principales factores que afectan al problema dentro de la empresa, siempre tratando de conseguir la información de forma directa y objetiva.

- Etapa 2: Análisis de casos de éxito y almacenamiento en base de datos. Antes de comenzar con el análisis de los casos de éxito, es muy importante definir de manera clara y simple cuales serán los criterios con los que se identificarán dichos casos de éxito, considerando como enfoque principal el problema a resolver, además de construir una nueva base de datos para los casos de éxito encontrados en caso de no contar con una base de datos que se ajuste a dicho análisis, siempre considerando que la ubicación o forma de almacenar los datos sea la más adecuada para el persona de la empresa, en cuanto a facilidad de uso y eficiencia en su manejo.
- Etapa 3: Propuesta de uso dentro del problema (uso del modelo propuesto dentro del problema). En esta etapa crítica para la solución efectiva del problema, ya con los medibles, las ponderaciones bien definidas y el análisis de los casos de éxito realizado, además de una base de datos adecuada con los casos de éxito ya evaluados, es recomendable determinar el uso o la forma de utilizar el modelo según mejor convenga a los intereses y recursos disponibles para resolver la problemática, es decir, utilizar las herramientas o los recursos de los que se disponga para evitar incrementar costos o tiempos de espera a la solución, como en el caso de la empresa consultora Sandalwood, donde se utilizó un cuestionario automatizado programado con macros en Microsoft Excel, pues se contaba con la licencia y los conocimientos para hacerlo, además de que el todo el personal ya contaba con experiencia en el uso de la paquetería de Microsoft Office.
- Etapa 4. Análisis de resultados y retroalimentación de la base de datos. Para esta última etapa se deben revisar los resultados de forma adecuada, sin perder el enfoque de la problemática a resolver y con esto poder retroalimentar la base de datos previamente definida para robustecer el modelo, así como también para tener mas opciones o puntos de comparación al hacer propuestas para los clientes evaluados.

En general, las recomendaciones anteriores para cada etapa ofrecen de manera muy completa puntos clave que se deben considerar en la implementación del modelo y que pueden servir como guía para una mejora continua del mismo, pero es importante también no olvidar que en la instrumentación del modelo como herramienta de evaluación hay muchas opciones de mejora como las que se sugieren en el siguiente apartado de este trabajo.

6.3 Trabajos futuros

En lo que concierne a este trabajo se han logrado avances importantes en la forma de evaluar la Industria 4.0 en una empresa y se ha concluido satisfactoriamente al haber cumplido con los objetivos definidos al inicio del mismo, sin embargo, existen diversas opciones o ideas de investigación relacionadas que quedan abiertas como oportunidades de mejora, las cuales, por cuestiones tanto de tiempo como límites del alcance del trabajo, no fueron abordadas en su totalidad, aunque podrían desarrollarse posteriormente.

Por lo tanto, a continuación se muestran algunas opciones de propuestas para trabajos futuros:

- Hacer un análisis de la eficacia del modelo donde se pueda observar de forma clara una comparación de proyectos exitosos y no exitosos con sus respectivas evaluaciones, con el fin de buscar si existe alguna relación o algún indicador notable entre el nivel de madurez en Industria 4.0 y la factibilidad de que el proyecto sea exitoso, pues sería muy interesante poder descubrir qué tipo de empresas son las que más compran servicios de implementación en Industria 4.0 según su nivel de madurez al ser evaluadas. Lo cual sin duda, serviría mucho para cualquier compañía consultora que desee enfocar sus recursos en empresas de manufactura con un determinado nivel de madurez.
- Implementar el modelo propuesto en los demás departamentos de la empresa consultora, considerando adaptar el modelo a la problemática correspondiente, para comprobar su eficacia y analizar su desempeño, de tal manera que sea

posible utilizar el modelo en diferentes entornos para resolver otro tipo de problemas.

- Respecto a la instrumentación del modelo como herramienta, se podría trabajar en una versión más automatizada del cuestionario de Excel que se adapte a la página de internet de la compañía para uso de clientes potenciales, pues brindaría publicidad y promoción de los servicios ofrecidos por la compañía consultora, además de enriquecer el tamaño de la base de datos con la que cuenta la compañía actualmente. Sin duda, el uso de la herramienta propuesta enfocado en el área de mercadotecnia tendría muy buenos resultados.
- Aplicar tecnologías más avanzadas en el diseño del cuestionario de evaluación, como el uso de inteligencia artificial, “machine learning”, para poder no sólo evaluar niveles de madurez en Industria 4.0 en las empresas, sino también ofrecer soluciones a la medida para cada empresa evaluada de forma más rápida y precisa con el fin de entregar más propuestas a más clientes, buscando así concretar un mayor número de proyectos.
- Revisar correlación de las dimensiones evaluadas para ajustar las ponderaciones según sea necesario con el objetivo de encontrar un resultado aún más preciso con potencial predictivo respecto a futuros proyectos factibles para la empresa evaluada.

7. REFERENCIAS

Albarrán-Trujillo, S. E., Salgado-Gallegos, M. y Pérez-Merlos, J. C. (2020) “Integración de la gestión del conocimiento y la Industria 4.0, una guía para su aplicación en una organización”, *Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación RILCO DS*, 2(7), pp. 1–13.

Atzori, L., Iera, A. y Morabito, G. (2017) “Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm”, *Ad Hoc Networks*, 56, pp. 122–140. doi: 10.1016/j.adhoc.2016.12.004.

Bayly, K. (2017) *El Ciclo de Vida de un Proyecto de Inversión, Blog - IDESAA Escuela de Negocios*. Disponible en: <https://idesaa.edu.mx/blog/el-ciclo-de-vida-de-un-proyecto-de-inversion/>

Chiarini, A., Belvedere, V. y Grando, A. (2020) “Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies”, *Production Planning & Control*. Informa UK Limited, pp. 1–14. doi: 10.1080/09537287.2019.1710304.

Contreras, E. y Diez, C. (2015) *Diseño y evaluación de proyectos. Un enfoque integrado*. 1a ed. Editado por J. C. Saéz. Santiago de Chile: JC Sáez Editor SpA.

Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U. y Dolen, M. (2017) “The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0”, *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 11, pp. 545–554. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.148.

Fernández-Espinoza, S. (2007) *Los proyectos de inversión: evaluación financiera*. 1a ed. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Gandomi, A. y Haider, M. (2015) “Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics”, *International Journal of Information Management*, 35(2), pp. 137–144. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007.

Gattullo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F. y Bordegoni, M. (2019) “Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Elsevier Ltd, 56, pp. 276–286. doi: 10.1016/j.rcim.2018.10.001.

Gómez-Barrios, V. H., Figueroa-Fernández, V., Jiménez-García, J. A. y Hernández-González, S. (2020) “Propuesta de secuencia óptima para implementar tecnologías de Industria 4.0 utilizando algoritmo de búsqueda tabú”, *Pistas Educativas*, 41(135), pp. 91–101.

- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014) *Metodología de la Investigación*. 6a ed. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández Gomez, J. y Hernández Calzada, M. A. (2019) “Los retos de la implementación de la Industria 4.0”, *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 8(15), pp. 13–16.
- Jäger, J., Schöllhammer, O., Lickefett, M. y Bauernhansl, T. (2016) “Advanced Complexity Management Strategic Recommendations of Handling the ‘Industrie 4.0’ Complexity for Small and Medium Enterprises”, *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 57, pp. 116–121. doi: 10.1016/j.procir.2016.11.021.
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S. y Pal, D. (2015) “Likert Scale: Explored and Explained”, *British Journal of Applied Science & Technology*. Sciencedomain International, 7(4), pp. 396–403. doi: 10.9734/bjast/2015/14975.
- Kohlegger, M., Maier, R. y Thalmann, S. (2009) “Understanding Maturity Models Results of a Structured Content Analysis”, en *I-KNOW y I-SEMANTICS*, pp. 51–61.
- Lanza, G., Nyhuis, P., Majid-Ansari, S., Kuprat, T. y Liebrecht, C. (2016) “Befähigungs- und einführungsstrategien für industrie 4.0: Vorstellung eines reifegradbasierten ansatzes zur implementierung von industrie 4.0”, *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. Carl Hanser Verlag, 111(1–2), pp. 76–79. doi: 10.3139/104.111462.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. y Hoffmann, M. (2014) “Industry 4.0”, *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), pp. 239–242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
- Lee, J., Bagheri, B. y Kao, H.-A. (2015) “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems”, *Manufacturing Letters*. Elsevier Ltd, 3, pp. 18–23. doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. y Schröter, M. (2015) *IMPULSE - Industrie 4.0 Readiness*. Aachen.
- Lu, Y. (2017) “Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues”, *Journal of Industrial Information Integration*. Elsevier B.V., 6, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.
- Madni, A. M. y Sievers, M. (2014) “Systems integration: Key perspectives, experiences, and challenges”, *Systems Engineering*, 17(1), pp. 37–51. doi: 10.1002/sys.21249.
- Mejía Huidobro, M. A., Camacho Vera, A. D. y Marcelino Aranda, M. (2019) “Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México”, *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 6(1), pp. 13–31.
- Oliva-Navarro, D. y Tinaut-Fluixa, F. (2018) *Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción*. Escuela Ingenierías Industriales.

- Orzes, G., Poklemba, R. y Towner, W. T. (2020) "Implementing Industry 4.0 in SMEs: A Focus Group Study on Organizational Requirements", en *Industry 4.0 for SMEs*. Springer International Publishing, pp. 251–277. doi: 10.1007/978-3-030-25425-4_9.
- Rahimi, M. R., Ren, J., Liu, C. H., Vasilakos, A. V. y Venkatasubramanian, N. (2014) "Mobile cloud computing: A survey, state of art and future directions", *Mobile Networks and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 19(2), pp. 133–143. doi: 10.1007/s11036-013-0477-4.
- Roblek, V., Meško, M. y Krapež, A. (2016) "A Complex View of Industry 4.0", *SAGE Open*, 6(2), p. 215824401665398. doi: 10.1177/2158244016653987.
- Rodič, B. (2017) "Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm", *Organizacija*. De Gruyter Open Ltd, 50(3), pp. 193–207. doi: 10.1515/orga-2017-0017.
- Samad, T. y Annaswamy, A. (2011) *The Impact of Control Technology*.
- Simpson, J. A. y Weiner, E. S. C. (1989) *The Oxford English Dictionary*. 2nd ed. / Editado por Oxford. Oxford : Clarendon Press; Oxford University Press.
- Stevens, T. (2018) "Global cybersecurity: New directions in theory and methods", *Politics and Governance*. Cogitatio Press, 6(2), pp. 1–4. doi: 10.17645/pag.v6i2.1569.
- Thames, L. y Schaefer, D. (2016) "Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0", *Procedia CIRP*, 52, pp. 12–17. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.041.
- Tremosa, L. (2017) *Industria 4.0 y nuevas necesidades de formación profesional*. Disponible en: <https://www.infoplcn.net/plus-plus/tecnologia/item/104015-industria-4-0-nuevas-necesidades-formacion-profesional>.
- Vaidya, S., Ambad, P. y Bhosle, S. (2018) "Industry 4.0 – A Glimpse", *Procedia Manufacturing*, 20, pp. 233–238. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
- Varghese, A. y Tandur, D. (2014) "Wireless requirements and challenges in Industry 4.0", en *Proceedings of 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2014*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 634–638. doi: 10.1109/IC3I.2014.7019732.
- Vermeeren, A. P. O. S., Law, E. L. C., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J. y Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2010) "User experience evaluation methods: Current state and development needs", *NordiCHI 2010: Extending Boundaries - Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 521–530. doi: 10.1145/1868914.1868973.
- Witkowski, K. (2017) "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management", *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd, 182, pp. 763–769. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.197.

Zhou, K., Liu, T. y Zhou, L. (2015) "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges", en *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. Ganzhou: IEEE, pp. 2147–2152. doi: 10.1109/FSKD.2015.7382284.

ANEXO 2 Formato de minuta para primeras reuniones



Hermosillo, Sonora, a 4 de marzo 2020

MINUTA DE LA REUNIÓN CELEBRADA EN LA EMPRESA "SANDALWOOD ENGINEERING AND ERGONOMICS DE MEXICO"

ASISTENTES

Por la Empresa:

Dr. Carlos Alberto Real Villalba

Por el Posgrado

Tesista: Ing. Julio César Cortez Gámez

ASUNTO(S) TRATADO(S)

- Presentación por parte de la empresa: se brindó una introducción e historia de la empresa, además, se habló de manera general sobre los diferentes proyectos en los que la empresa ha participado a lo largo de su historia para conocer con mayor detalle sus objetivos y la forma en la que se trabaja dentro de la compañía.
- Se comentaron las generalidades del proyecto: el tesista mencionó su compromiso durante el desarrollo del proyecto y que se establecería un plan de trabajo específico una vez que el tesista conociera más de la empresa, específicamente en el departamento de integración de sistemas, área en la cuál se enfocará el proyecto de tesis.

ACUERDOS

Entre los principales acuerdos se definieron los siguientes:

- Que el tesista comenzaría a visitar la empresa a partir de agosto de 2020.
- A más tardar a finales de febrero del 2021, el tesista haría una propuesta de trabajo.

NOMBRE Y FIRMA DE LOS ASISTENTES

Dr. Carlos Alberto Real Villalba
Gerente General

Ing. Julio César Cortez Gámez
Tesista de la Maestría

ANEXO 3 Cuestionario para evaluar el nivel de madurez en Industria 4.0

GRUPO 1 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN DE EMPLEADOS 1.- Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.					
DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (I4.0)	Sin habilidades para los 9 pilares de la I4.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la I4.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la I4.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la I4.0 (5 a 9 pilares)
Preguntarle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuantos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleos y no solo unos cuantos.					

GRUPO 2 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CIBERSEGURIDAD 2.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes
Preguntarle al cliente sobre la ciberseguridad. ¿Tienen controles de seguridad para acceder a la información? ¿Hay controles o soluciones de seguridad de tecnologías de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o totalmente?					

GRUPO 3 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SIMULACIÓN 3.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
SIMULACIÓN	Sin modelado digital ni planeación a futuro	Sin modelado digital, pero con planeación a futuro	Modelado digital existente a pequeña escala o con poco uso	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos
Preguntarle al cliente sobre el uso de simulación en sus procesos. ¿Tienen algún programa de simulación en uso? ¿Utilizan modelados digitales para algo dentro de sus procesos? ¿A que escala usan el modelado digital en sus procesos o áreas de trabajo?					

GRUPO 4 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE BIG DATA 4.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
BIG DATA	No hay datos disponibles para su uso posterior ni planeación a futuro	No hay datos disponibles para su uso posterior, pero hay planeación a futuro	Los datos se utilizan para algunos fines selectos	Algunos datos son utilizados para optimizar procesos (mantenimiento predictivo, etc.)	Datos utilizados en varias áreas para optimización
Preguntarle al cliente sobre el uso de Big Data. ¿Tienen algún sistema de recolección de datos? ¿Hay un almacenamiento de datos y además dichos datos se utilizan para algo en específico? ¿Realizan análisis de datos para optimización de procesos a gran escala?					

GRUPO 5 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CLOUD COMPUTING 5.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.					
DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
CLOUD COMPUTING	No se utilizan soluciones en la nube ni hay planeación a futuro	No se utilizan soluciones en la nube, pero hay planeación a futuro	Soluciones iniciales planificadas para software basado en la nube, almacenamiento de datos y análisis de datos	Soluciones iniciales implementadas a pequeña escala o en pocas áreas	Soluciones iniciales implementadas a gran escala o en algunas áreas
Preguntarle al cliente sobre el uso de servicios en la nube. ¿Utilizan algún servicio en la nube, ya sea almacenamiento de datos o programas utilizados en sus procesos? ¿Existen soluciones en la nube planeadas, implementadas a pequeña o a gran escala?					

GRUPO 6

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE INTERNET DE LAS COSAS
6.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
INTERNET DE LAS COSAS	Sin funcionalidades complementarias para la maquinaria o equipos. No hay planeación a futuro	Sin funcionalidades complementarias para la maquinaria o equipos, pero hay planeación a futuro	La maquinaria o equipos cuentan con funcionalidades complementarias iniciales. Tienen conectividad a la red	La maquinaria o equipos cuentan con múltiples funcionalidades complementarias interrelacionadas. Tienen conectividad a la red.	La maquinaria o equipos cuentan con múltiples funcionalidades complementarias interrelacionadas en diferentes áreas. Tienen conectividad entre ellas y la red.
Preguntarle al cliente sobre el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas). ¿Utilizan algún tipo de tecnología IoT en sus procesos? ¿La maquinaria o equipos cuentan con conectividad a la red? ¿Hay funciones complementarias o relacionadas entre los equipos?					

GRUPO 7

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ROBÓTICA
7.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
ROBÓTICA	Proceso artesanal, no hay maquinaria automatizada o robots que realicen el proceso	La infraestructura de las máquina o robots y el sistema no se puede controlar a través de TI, sin integración (M2M)	Algunas máquinas o robots se pueden controlar a través de TI, son interoperables o tienen capacidad M2M	La infraestructura de la máquina o robots y el sistema se pueden controlar hasta cierto punto a través de TI, es interoperable o está integrada con datos	La maquinaria se puede controlar completamente a través de TI, está parcialmente integrada (M2M) o es interoperable
Preguntarle al cliente sobre el uso de maquinaria automatizada o robots. ¿Utilizan robots en sus procesos? ¿La maquinaria o robots cuentan con conectividad a la red? ¿Hay funciones de control por medio de TI? ¿Hay comunicación entre los robots (M2M)?					

GRUPO 8

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE INTEGRACIÓN
8.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
INTEGRACIÓN	Sin intercambio de información integrado en el sistema	Inicios del intercambio de información integrado en el sistema dentro de la empresa	Intercambio de información en la empresa parcialmente integrado en el sistema	Intercambio de información en la empresa integrado en el sistema interno y con inicios en el externo	Intercambio de información predominantemente integrado en el sistema interno y parcialmente en el externo
Preguntarle al cliente sobre el nivel de integración de sus procesos. ¿Hay intercambio de información en sus procesos o entre sus áreas de trabajo? ¿Hay intercambio de información entre departamentos de la misma empresa o hacia proveedores externos?					

GRUPO 9

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE REALIDAD AUMENTADA
9.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
REALIDAD AUMENTADA	Sin utilización de la realidad aumentada ni planeación a futuro	Sin utilización de la realidad aumentada, pero hay planeación a futuro	Realidad aumentada existente a pequeña escala o con poco uso	Realidad aumentada existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Realidad aumentada existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos
Preguntarle al cliente sobre el uso de realidad aumentada (AR) en sus procesos. ¿Utilizan la tecnología de AR para algo dentro de sus procesos de trabajo? ¿Hay planeación a futuro para su uso? ¿A que escala utilizan la AR?					

GRUPO 10


EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FABRICACIÓN ADITIVA
10.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	<input checked="" type="radio"/> NIVEL 0	<input type="radio"/> NIVEL 1	<input type="radio"/> NIVEL 2	<input type="radio"/> NIVEL 3	<input type="radio"/> NIVEL 4
FABRICACIÓN ADITIVA	Sin utilización de la fabricación aditiva ni planeación a futuro	Sin utilización de la fabricación aditiva, pero hay planeación a futuro	Fabricación aditiva a pequeña escala o con poco uso	Fabricación aditiva existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Fabricación aditiva existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos
Preguntarle al cliente sobre el uso de fabricación aditiva en sus procesos. ¿Utilizan alguna tecnología de fabricación aditiva como impresiones 3D o similares para algo dentro de sus procesos? ¿Hay planeación a futuro para su uso? ¿A que escala se usa?					

ANEXO 4 Ayuda visual para aplicación de cuestionario de evaluación de Industria 4.0

1

Empresa: AUTOMETAL Planta: NMEX Depto. o Área: ESTAMPADO Ciudad: HERMOSILLO
 Nombre del Cliente: JUAN CONTRERAS Teléfono: 6622124524 Correo: JCONTRERAS@AUTOMETAL.COM.MX País: MEXICO
 Evaluador: JULIO CORTES No. Cotización: _____



Trabaja inteligente. Trabaja seguro

2

1. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN DE EMPLEADOS
 1.- Seleccione el nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (H.0)	Sin habilidades para los 3 pilares de la H.0	Habilidades básicas en al menos 1 pilar de la H.0	Habilidades básicas en la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la H.0 (5 a 3 pilares)

Preguntarle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuantos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleados y no solo uno o dos.

3

NIVEL DE MADUREZ = 1.3

4

2. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CIBERSEGURIDAD
 2.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes

Preguntarle al cliente sobre la ciberseguridad. ¿Tienen controles de seguridad para acceder a la información? ¿Hay controles o soluciones de seguridad de tecnologías de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o...

5


Nivel	Descripción
0	Nulo. Inexistente, desconoce la Industria 4.0 en general
1	Principiante. Planeación, pruebas o prototipos aislados
2	Intermedio. Presupuesto con estrategia. Implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
3	Experimentado. Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que esté todo el departamento
4	Avanzado. Implementación avanzada, cumple en gran medida. Se está comenzando a explorar pilas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorregulación

4

3. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SIMULACIÓN
 3.- Seleccione el nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
SIMULACIÓN	Sin modelado digital ni planeación a futuro	Sin modelado digital, pero con planeación a futuro	Modelado digital existente a pequeña escala o con poco uso	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en pocas áreas o procesos	Modelado digital existente en gran escala o con gran uso en múltiples áreas o procesos

Preguntarle al cliente sobre el uso de simulación en sus procesos. ¿Tienen algún programa de simulación en uso? ¿Utilizan modelados digitales para algo dentro de sus procesos? ¿A qué escala usan el modelado digital en sus procesos o áreas de...





ANEXO 5 Ayuda visual para análisis comparativo entre el resultado obtenido y los casos de éxito

Empresa: AUTOMETAL Planta: HMEK Depto. o Área: ESTAMPADO Ciudad: HERMOSILLO País: MEXICO
 Nombre del Cliente: JUAN CONTRERAS Teléfono: 662214524 Correo: JCONTRERAS@AUTOMETAL.COM.MX
 Evaluador: JESÚS CORTIÉZ No. Contratación:

1

1.- Selección del nivel correspondiente a la mayoría de los empleados.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Habilidades de los empleados en Industria 4.0 (H.0)	Sin habilidades para los 8 pilares de la H.0	Habilidades básicas en algunos pilares de la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades básicas en algunos pilares de la H.0 (2 a 4 pilares)	Habilidades adecuadas en algunos pilares de la H.0 (5 a 6 pilares)	Habilidades adecuadas en varios pilares de la H.0 (6 a 8 pilares)

Prepararle al cliente sobre el nivel de conocimiento, capacitación o habilidades de los empleados en los pilares de la industria 4.0. Identificar con cuántos pilares trabajan sus empleados considerando la mayoría de los empleados y no solo unos cuantos.

NIVEL DE MADUREZ = 1.3

2.- Selección del nivel correspondiente según aplique.

DIMENSION	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
CIBERSEGURIDAD	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementadas	Soluciones iniciales de seguridad de TI planeadas	Se planean varias soluciones de seguridad de TI o se están desarrollando soluciones iniciales	Las soluciones de seguridad de TI se han implementado parcialmente	Se han implementado soluciones integrales de seguridad de TI y se están cerrando las brechas existentes

Prepararle al cliente sobre la ciberseguridad, tener controles de seguridad para acceder a la información, y tener controles o soluciones de seguridad de tecnología de la información (TI) planeadas, en desarrollo, implementadas parcialmente o

Nivel	Descripción
0	Nulo, inexistente, desconoce la industria 4.0 en general
1	Principiante. Planeación, pruebas o prototipos aislados
2	Intermedio. Presupuesto con estrategia, implementación básica no cumple con lo mínimo en áreas aisladas
3	Experimentado. Implementación intermedia, cumple con lo mínimo en varias áreas de un departamento con el fin de que este todo el departamento
4	Avanzado. Implementación para toda la organización gran madurez. Se está comenzando a explorar piezas de trabajo guiadas de forma autónoma y procesos de autorreacción

1 Revisar el nivel de madurez obtenida después de contestar el cuestionario.

2

2 En la pestaña "BASE DE DATOS" filtrar la columna "MATURITY LEVEL" según el nivel obtenido en la evaluación del cuestionario para usar de referencia las propuestas de los casos de éxito que correspondan al proyecto del cliente.

3

3 En el "Sharepoint" de Sandalwood, según el caso de éxito a comparar, la propuesta de referencia estará ubicada dentro de la carpeta "03 Proposal".